

MESSAGE

Anwendungsmöglichkeiten eines globalen
Energiemodells in der Schweiz

Dissertation

der Rechts- und staatswissenschaftlichen Fakultät
der Universität Zürich
zur Erlangung der Würde eines Doktors
der Wirtschaftswissenschaft

vorgelegt von

LUKAS RÜST
von Thal SG

genehmigt auf Antrag von
Herrn Prof. Dr. P. Kall

Zürich 1985
Zentralstelle der Studentenschaft



MESSAGE

Anwendungsmöglichkeiten eines globalen
Energiemodells in der Schweiz

Dissertation

der Rechts- und staatswissenschaftlichen Fakultät
der Universität Zürich
zur Erlangung der Würde eines Doktors
der Wirtschaftswissenschaft

vorgelegt von

LUKAS RÜST
von Thal SG

genehmigt auf Antrag von
Herrn Prof. Dr. P. Kall

Zürich 1985
Zentralstelle der Studentenschaft

Die Rechts- und staatswissenschaftliche Fakultät gestattet
hierdurch die Drucklegung vorliegender Dissertation, ohne
damit zu den darin ausgesprochenen Anschauungen Stellung
zu nehmen.

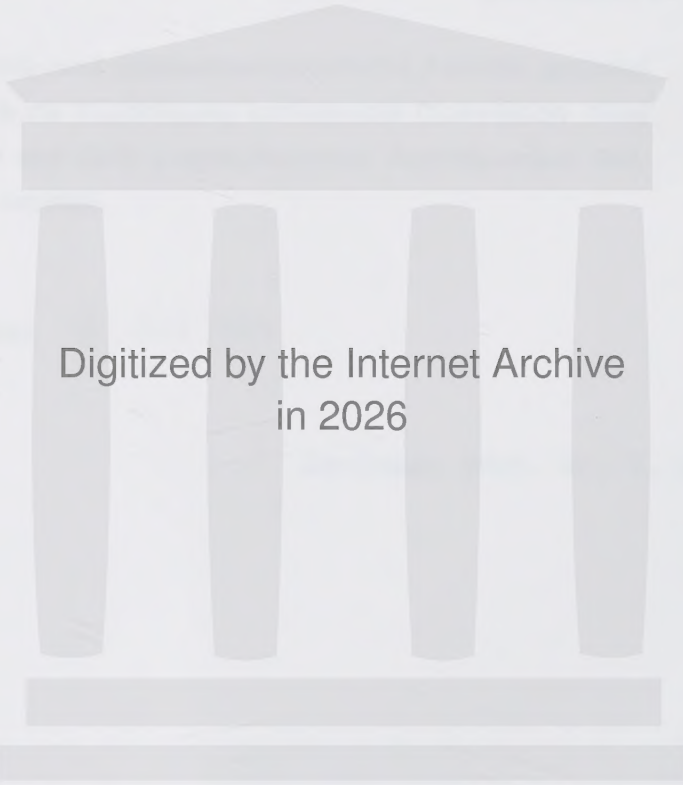
Zürich, den 10. Juli 1985

Der Dekan: Prof. Dr. K. Bauknecht

Allen, die in irgendeiner Weise zur vorliegenden Arbeit beigetragen haben, möchte ich an dieser Stelle herzlich danken.

Ganz besonderen Dank möchte ich Herrn Prof. Dr. P. Kall aussprechen, der mir bei der Durchführung und Abfassung dieser Arbeit enorme Freiheit gewährte.

Zu speziellem Dank verpflichtet bin ich Fräulein E. Keller, dipl. math., für ihre Unterstützung in Informatikbelangen und Herrn A. Quadroni, Dipl. El.-Ing. ETH, für seine Implementationsversuche mit MESSAGE sowie den Verbänden, Organisationen und Bundesstellen, die mir wertvolle Informationen zukommen liessen.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Ausgangspunkt	1
1.3 Fragestellung	2
1.4 Vorgehen	3
1.5 Mögliche Resultate	4
1.6 Aufbau der Arbeit	4
2. Modellbeschreibung	5
2.1 Restriktionen	5
2.1.1 Nachfrage nach Nutzenergie	5
2.1.2 Bedarf an Endenergie	6
2.1.3 Totale Verfügbarkeit der Endenergie	7
2.1.4 Jährliche Verfügbarkeit an Inlandendenergie	7
2.1.5 Kapazitäten der Umwandlungstechnologien	7
2.1.6 obere Schranken auf Kapazitätserweiterung	9
2.1.7 Schranken auf dem Import von Endenergie	9
2.1.8 Weitere Beschränkungen	9
2.2 Zielfunktion	10
2.2.1 Kapitalkosten	10
2.2.2 Unterhalts- und Betriebskosten	10
2.2.3 Energiekosten	11
2.3 Technische Anmerkungen	12
2.3.1 Ganzzahligkeit	12
2.3.2 Dekomposition	12
2.4 Programmablauf	12
3. Modellierung der Version Schweiz	13
3.1 Modellgrößen	13
3.1.1 Energienachfrage	13
3.1.2 Energieangebot	13
3.1.3 Technologien	15
3.2 Exogene Inputdaten	17
3.2.1 Nachfrage nach Nutzenergie	18
3.2.2 Angebot an Endenergie	23
3.2.3 Preise für Endenergie	26
3.2.4 Technologien	28
3.2.5 Schranken	42
3.2.6 Diskontrate	44
4. Ergebnisse	45
4.1 Problemgröße	45
4.2 Vortest	45
4.3 Resultat	46
4.3.1 Wärme im Haushalt	47
4.3.2 Wärme in Gewerbe - Landwirtschaft und Dienstleistung	47
4.3.3 Mechanische Arbeit in Gewerbe - Landwirtschaft und Dienstleistung	48
4.3.4 Wärme in der Industrie	48
4.3.5 Chemische Prozessenergie in der Industrie	48
4.3.6 Mechanische Arbeit im Verkehr	48

4.3.7 Zusammensetzung der Endenergie	48
4.4 Kritische Punkte	49
4.4.1 Energiepreise	49
4.4.2 Laufende Kosten und Kapitalkosten	50
4.4.3 Schranken	50
4.4.4 Wirkungsgrad	50
4.4.5 Zinsfuß	50
5. Schlussbetrachtung	51
5.1 Anwendungsmöglichkeiten und Benutzerfreundlichkeit	51
5.2 Modellerweiterungen	51
5.3 Quervergleiche	52
5.4 Arbeitsaufwand	52
5.5 Fazit	53
Referenzen	54

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1. Verbrauchergruppen der Nutzenergie	13
Tabelle 2. Anwendungsgebiete der Nutzenergie	13
Tabelle 3. Endenergieangebot mit verschiedenen Kategorien	14
Tabelle 4. Sammeltechnologien, Teil 1	15
Tabelle 5. Sammeltechnologien, Teil 2	16
Tabelle 6. Zusätzliche Technologien	17
Tabelle 7. Nachfrage nach Nutzenergie im Haushaltsektor	19
Tabelle 8. Nachfrage nach Nutzenergie im Sektor G - L - D	20
Tabelle 9. Nachfrage nach Nutzenergie in der Industrie	21
Tabelle 10. Nachfrage nach Nutzenergie im Sektor Verkehr	22
Tabelle 11. Gesamtnachfrage nach Nutzenergie	23
Tabelle 12. Totale Verfügbarkeit der Endenergien	24
Tabelle 13. Jährliche Verfügbarkeiten der Inland - Endenergien, Teil 1	25
Tabelle 14. Jährliche Verfügbarkeiten der Inland - Endenergien, Teil 2	25
Tabelle 15. Jährliche Importschranken für Endenergien	26
Tabelle 16. Durchschnittspreise für Endenergie 1982	27
Tabelle 17. Kennzahlen der Sammeltechnologien, Teil 1	37
Tabelle 18. Kennzahlen der Sammeltechnologien, Teil 2	38
Tabelle 19. Kennzahlen der Zusatztechnologien, Teil 1	41
Tabelle 20. Kennzahlen der Zusatztechnologien, Teil 2	42
Tabelle 21. Obere Schranken der Sammeltechnologien	43
Tabelle 22. Obere Schranken der Zusatztechnologien	43
Tabelle 23. Durchschnittliche konstante jährliche Zuwachsraten	49

1. Einleitung

1.1 Motivation

Die Erdölkrise in den Jahren 1973/74 hat in weiten Kreisen unserer Welt eine Panik verursacht. Zum erstenmal wurde das Erdöl als politische Waffe (erfolgreich) eingesetzt. Dieser Schritt hat uns drastisch vor Augen geführt, wie einseitig unsere Energieversorgung aufgebaut ist. Diese Tatsache war Anlass zu einer weltweiten Neueinschätzung des Energieproblems[38, p.1]. In der Folge ist eine grosse Anzahl von Energiemodellen entwickelt worden. Diese Entwicklung war fast exponentiell. Im Juni 1978 veröffentlichte das *Energy Modeling Forum (EMF)* an der Stanford University einen Katalog[22] von beinahe 150 Energiemodellen. Diese Tatsache ist ein untrüglicher Indikator, dass sich Wissenschaftler aus der ganzen Welt in den letzten zwölf Jahren intensiv mit Energieproblemen beschäftigt haben. Auch vor unserem Land machte diese Entwicklung nicht halt. Der Schweizerische Nationalfonds lancierte das nationale Forschungsprogramm 44 (**Energie**), das 18 Projekte[34, p.14] umfasst. Man kann aber kaum behaupten, dass die Modelle im Entscheidungsprozess schon überwiegend Fuss gefasst hätten. Die Gründe dürften sowohl bei den Modellbauern wie auch bei den Entscheidungsträgern zu suchen sein. Die Modellbauer haben offensichtlich bis jetzt noch nicht beweisen können, dass sie über das nötige Instrumentarium verfügen, um die gesetzten Ziele zu erreichen. Vielleicht fehlt ihnen auch das notwendige *Marketing - Denken*, um die Modelle an den Mann, sprich an die Entscheidungsträger zu bringen. Auf der anderen Seite erwarten die Entscheidungsträger fertige Lösungen, mit denen die bestehenden Unsicherheiten und Risiken aus dem Weg geräumt werden können. Diese Lösungen dürfen die Entscheidungsträger von den Modellbauern nicht erwarten. An einem Arbeitsseminar über "Energiemodelle für die Bundesrepublik Deutschland" stellte ein Experte fest: 'Die Fragen, auf die es Antworten zu geben gilt, lauten also **nicht**:

— "Wie hoch wird der Energieverbrauch im Jahre 2000 sein?" oder

— "Welchen Anteil an der Bedarfsdeckung werden die verschiedenen Primärenergieträger haben?", sondern, "Welche energiepolitischen Massnahmen und Entscheidungen sind heute notwendig, um angesichts der bestehenden Unsicherheiten und Risiken und angesichts divergierender Vorstellungen über die anzustrebenden Ziele die Voraussetzungen zu schaffen und die Entwicklungen einzuleiten, welche die für die wirtschaftliche und soziale Entwicklung unserer Gesellschaft notwendige Energieversorgung gewährleisten?" Gefragt sind also keine Prognosen, die, auch wenn sie mit noch so grosser Sorgfalt erstellt worden sind, die in der Zukunft liegende Ungewissheit nicht beseitigen können, sondern notwendig ist das, was hier eine "langfristige Energiestrategie" genannt werden soll.[48, p.18] Diese hohe Zielsetzung stand über unserer Arbeit. Es war nie unser Ziel, Prognosen etwa bezüglich Energienachfrage zu entwerfen oder in die energiewirtschaftliche Tagespolitik einzugreifen. Hingegen wollten wir untersuchen, wie, unter bestimmten Voraussetzungen, die vorgegebene Energienachfrage am kostengünstigsten befriedigt werden könnte.

1.2 Ausgangspunkt

Ausgangspunkt unserer Arbeit war eine globale Systemanalyse, die am *International Institute for Applied Systems Analysis* (IIASA) in Laxenburg, Wien, durchgeführt wurde[12] [13]. Die Energy Systems Program Group des IIASA beschäftigte und beschäftigt sich mit mittel- und langfristigen Aspekten globaler Energieversorgung und -nachfrage. (Für ihre Betrachtungen teilt sie die Welt allerdings in sieben Regionen auf.) Als Resultat dieser Arbeit entstand ein ganzes Set von Modellen, die zusammenwirken sollen[13, p.214]. Die Energy Systems Program Group ging davon aus, dass bis etwa im Jahr 2030 die heutigen, vergleichsweise billigen fossilen Primärenergieträger durch neue Energieträger ersetzt werden müssen. Mit dem System von Modellen will man die Auswirkungen von Energiestrategien erfassen. Hierfür werden Szenarien erstellt, die einen Bereich zukünftiger Möglichkeiten abstecken, innerhalb dessen die tatsächliche Entwicklung stattfinden sollte. Dafür

muss man den Betrachtungen eine Zukunft zugrunde legen, die frei von abrupten Krisen ist. Nur am Rande sei vermerkt, dass die Schweiz nicht Mitglied der IIASA ist und deshalb in unserem Lande eher wenig Kenntnis von der Tätigkeit der Energy Systems Program Group dieser zur Zeit von 17 Staaten getragenen Organisation genommen wird. Dies in offensichtlich markantem Gegensatz etwa zu Österreich. Innerhalb der Kette von Modellen beschreibt **MESSAGE** die Energieumwandlung und -versorgung. Dieses spezielle Modell wurde in mehrjähriger Arbeit von Wissenschaftlern aus Ost und West entwickelt und heisst mit voller Bezeichnung [4, p.1ff] [15, p.23ff]: *Model for Energy Supply Systems Alternatives and their General Economic Impact*. Einerseits steht eine Anzahl von nutzbaren Primärenergieressourcen zur Verfügung, andererseits muss eine vorgegebene Nachfrage nach Sekundärenergie gedeckt werden. Die kostengünstigste Umwandlung und Bedarfsdeckung soll mit MESSAGE ermittelt werden. Die schematische Darstellung ist in [12, p.413] wiedergegeben.

Das Modell MESSAGE arbeitet mit der **dynamischen Linearen Programmierung**, wobei in der Zielfunktion die Gesamtkosten der Energiebedarfsdeckung während eines gegebenen Planungszeitraumes stehen, die minimiert werden sollen. Die wichtigsten Restriktionen (Randbedingungen) betreffen die Primärenergie, nämlich die maximale Förderung pro Zeiteinheit und die verfügbaren Gesamtreserven, dann die Nachfrageprognosen nach Sekundärenergie, die gedeckt werden müssen, sowie als Verbindung von Angebot und Nachfrage die Kennzahlen der Energieumwandlung mit den einzelnen Umwandlungstechnologien. Die nutzbare (verfügbare) Primärenergie und die nachgefragte Sekundärenergie sind also exogene Daten, die verfügbar sein müssen, damit sie ins Modell einfließen können, um die günstigste Energiebedarfsdeckung zu suchen.

Die Mitarbeiter der IIASA haben verschiedene weltweite Untersuchungen, für die sie u.a. MESSAGE eingesetzt haben, veröffentlicht oder an Tagungen und Kongressen vorgestellt. Ein typisches Beispiel ist etwa in Voss [48, p. 28ff] zu finden.

1.3 Fragestellung

Die Arbeit der IIASA schien uns für eine Weiterarbeit interessant. Dabei stand folgende Frage im Mittelpunkt:

Lässt sich ein Energiemodell, das für globale Untersuchungen entwickelt und eingesetzt wurde, auch für ein kleines nationales Energiesystem, wie die Schweiz es darstellt, verwenden?

Die Aussicht auf eine erfolgreiche Anpassung von MESSAGE für die Schweiz wurde gestärkt durch eine analoge (erfolgreiche) Untersuchung für Österreich [38], die aber grösstenteils am IIASA selbst durchgeführt wurde und somit vom persönlichen Gedankenaustausch zwischen Modellbauer und -anpasser profitieren konnte. Daneben gab es eine ganze Reihe von gewichtigen Bedenken, etwa:

- Lassen sich die folgenden Eigenschaften der schweizerischen Energieversorgung im Modell wirklichkeitsgetreu abbilden
 - grosse Bedeutung der Wasserkraft
 - keine eigene Erdöl- und Kohleförderung
 - Stromverbund mit dem Ausland und dessen grosse Bedeutung für die Elektrizitätswirtschaft?
- Lassen sich in genügendem Umfang Daten aufbereiten, um vernünftige Aussagen wagen zu können?
- Lässt sich eine IIASA-Entwicklung in die Gesamtenergiekonzeption [10] einordnen oder mit ihr vergleichen?

— Lässt sich das zu MESSAGE gehörige Computerprogramm auf den Rechenanlagen der Universität implementieren?

Trotz dieser gewichtigen, offenen Fragen wagten wir uns nach einigen Vorstudien Ende 1982 ernsthaft an die Arbeit. Sie schien uns nicht zuletzt deshalb von Interesse, weil für die Antwort auf die Frage nach der kostengünstigsten Energiebedarfsdeckung der Einsatz von Methoden des Operations Research erwartet werden konnte. Vor mehr als zehn Jahren wurde schon ein diesbezüglicher Vorstoss unternommen[45, p.657f]. Allerdings lag für uns das Schwergewicht ganz eindeutig in der **Bereitstellung einer Planungshilfe** und nicht in besonderen Ergebnissen bei besonders gewählten Datensätzen.

1.4 Vorgehen

Freundlicherweise wurde uns von der IIASA die Software von MESSAGE in zwei Versionen zu wissenschaftlichen Zwecken zur Verfügung gestellt. Nach einigen Implementationsarbeiten entschieden wir uns, fortan die 'offizielle' Version MESSAGE I weiterzuverwenden und auf Fortran 77[41] anzupassen.

Bei der Anpassung der Modellparameter wurde schnell klar, dass die Umwandlung von Primär- in Sekundärenergie für die Schweiz uninteressant ist, weil im Inland zu wenig Primärenergieträger vorhanden und nutzbar sind. Sodann versuchten wir einige Testläufe[20] mit der Energienachfrage teilweise auf Stufe Endenergie (Elektrizität, Prozesswärme, flüssiger Treibstoff) und teilweise auf der Stufe Nutzenergie (Wärme im Haushaltsektor) durchzurechnen, also einen gemischten Ausschnitt aus dem schweizerischen Energieflussdiagramm zu modellieren[6, p.4] Dabei wurden zwei Mängel sichtbar:

1. Die einstufige Modellierung eines mehrstufigen Prozesses (z.B. Rohöl - Heizöl - Wärme) ist nur schwerfällig zu handhaben.
2. Die Resultate lassen sich kaum mit der aktuellen Statistik vergleichen, weil nur einzelne Ausschnitte ausgelesen werden ohne Rücksicht auf den Gesamtzusammenhang.

Schliesslich bestimmten wir einen klar begrenzten Ausschnitt aus dem Energieflussdiagramm, nämlich die Umwandlung von der Endenergie in die Nutzenergie[6, p.4, 8 und insbesondere 34]. Einige Tatsachen erleichterten diese Entscheidung:

- Die schweizerische Gesamtenergiestatistik führt eine detaillierte Übersicht mit 32 Umwandlungsmöglichkeiten[6, p.34] samt ihren Wirkungsgraden von der Stufe Endenergie zur Nutzenergie.
- Der Energiekonsument bestimmt wesentlich die Energienachfrage. Dabei fragt er aber nicht Heizöl nach, weil er es als Gut besitzen möchte, sondern weil bei seiner Verbrennung Wärme entsteht, mit der er seine Wohnung heizen kann [21, p.7] [29, p.12]. Die Nachfrage nach Wärme im Haushalt bleibt (gesetzliche Massnahmen und menschliche Verhaltensänderungen ausgeschlossen) konstant, unabhängig von der Erzeugungsart und deren Wirkungsgrad. Deshalb versprechen wir uns eine exakte Modellierung des Energieflusses, wenn wir von der Nutzenergie her beginnen.
- Energiesparmassnahmen sind brisante Schlagworte in der energiepolitischen Diskussion mit nicht selten unerwarteten tagespolitischen Auswirkungen. Allerdings sind uns nur implizite Aussagen bekannt, etwa eine Treibstoffreduktion von ca. 8% mit Tempo 100km/h auf Autobahnen und 80km/h auf Ausserortsstrassen[31, p.37]. Eine explizite Berechnung müsste aber möglich sein und wird am Beispiel der Hausisolation auch gezeigt. Dies bedingt aber die Modellierung des letzten Abschnittes im Energieflussdiagramm.

- Schliesslich glauben wir einen innovativen Beitrag zu leisten, wenn wir die Umwandlung von der End- in die Nutzenergie modellieren, gehen doch die üblichen Diskussionsbeiträge im Bereich Energiewirtschaft nicht tiefer als auf Stufe Endenergie (etwa [10, p.140ff]). Jedenfalls ist uns keine direkt auf der Gesamtenergiestatistik aufbauende schweizerische Untersuchung mit Einbezug der Nutzenergie bekannt, mit Ausnahme eines sog. Modal Splits des EIR[24] [25]. Über Teilaspekte existieren hingegen einige Untersuchungen, insbesondere über Heizsysteme.

Damit waren die Grundlagen für eine erfolgsversprechende Weiterarbeit geschaffen.

1.5 Mögliche Resultate

Als Resultat stellen wir uns eine mögliche Zusammensetzung der Endenergie vor, nämlich diejenige, die die Nachfrage nach Nutzenergie am kostengünstigsten decken kann. Viel wichtiger scheint uns aber, dass wir mit MESSAGE eine Antwort auf folgende Fragen geben können (Beispiele):

- Wie könnte sich eine überproportionale Steigerung des Heizölpreises auswirken?
- Wie könnte sich eine staatliche Subvention von Hausisolationen auswirken?
- Wie könnte sich der Ausfall eines KKW's auswirken?
- Zu welchem Preis können Sonnenkollektoren zur Gebäudeheizung konkurrenzfähig werden?
- Ist Gas die Energie der Zukunft?
- Wie könnte sich die Zusammensetzung der Endenergie bei einer Zinssatzsteigerung oder -reduktion auswirken?

Es soll nochmals klar betont werden, dass MESSAGE kein Prognosegenerator ist, sondern mögliche Auswirkungen von politischen oder wirtschaftlichen Entscheidungen mit Hilfe der Mathematik aufzeigen soll.

1.6 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit soll einen Überblick über das Projekt und mögliche weitere Einsätze für das Modell vermitteln. Sie ist wie folgt gegliedert:

- Beschreibung des mathematischen Modells (Kap. 2)
- Anpassung des Modells an das schweiz. Energiesystem (Kap. 3.1)
- Aufbereitung der Daten für das schweiz. Energiesystem (Kap. 3.2)
- Beschreibung der Resultate (Kap. 4)
- Schlussfolgerung (Kap. 5)
- Graphische Darstellung der Resultate (Anhang)

2. Modellbeschreibung

Die Beschreibung des Modells stützt sich auf [1] [4] [27] [28] sowie unsere Erfahrungen mit MESSAGE am Institut für Operations Research der Universität Zürich. Grundsätzlich wird das Modell in der Form beschrieben, wie es von uns eingesetzt wurde. Auf unsere Änderungen gegenüber der Originalversion der IIASA wird nicht konsequent eingegangen.

MESSAGE ist ein Modell, dass die dynamische Lineare Programmierung benützt mit der zusätzlichen Möglichkeit der gemischt-ganzzahligen Programmierung. Wenn man davon ausgeht, dass auf den meisten in Frage kommenden Computern die Lineare Programmierung verfügbar ist oder zumindest der Einsatz eines Standardsoftwarepaketes möglich wäre, sollte damit MESSAGE weit verbreitet einsetzbar sein.

Die grundlegende Idee (etwa bei Kall[19] zu finden) ist die Optimierung einer linearen Zielfunktion bezüglich einer Menge von linearen Restriktionen. Die Restriktionen bestimmen den zulässigen Bereich, aus dem die Zielfunktion die beste Lösung bezüglich eines Kriteriums auswählt.

2.1 Restriktionen

2.1.1 Nachfrage nach Nutzenergie

Die folgende Restriktion beschreibt die Nachfrage nach Nutzenergie. Für jede nachfragbare Form der Nutzenergie wird für jede Periode eine Restriktion generiert.

$$\sum_i \eta_i X_i^t \geq dm_m^t \quad (1)$$

Einheit: [TJ]

mit:	
t	= 1,...,11 (Zeitperioden)*
dm_m^t	jährliche Nachfrage nach Nutzenergie m in Zeitperiode t [TJ] (Die Energie wird in der Gesamtenergiestatistik in TJ angegeben, während MESSAGE im Original mit GWyr rechnet.)
η_i	Wirkungsgrad der Umwandlungstechnologie i [z.B. 0.69 bei Ölheizung]**
X_i^t	jährliche Umwandlung von End- in Nutzenergie während Zeitperiode t durch Technologie i [TJ]***
i	Umwandlungstechnologie

* Die Planungsdauer wird in Zeitperioden aufgeteilt. Unser Planungshorizont wurde auf 11 Perioden à 2 Jahren festgelegt, während am IIASA häufig mit etwa 10 Perioden à 5 Jahren gerechnet wurde.

** Die Wirkungsgrade entnehmen wir der Gesamtenergiestatistik [6, p.34].

*** Mit X_i^t wird diejenige Menge [TJ] an Endenergie bezeichnet, die ausschliesslich in Nutzenergie umgewandelt wird [Nettobetrag]. Die Umwandlungstechnologie kann aber zusätzliche Endenergie verbrauchen, etwa für den Betrieb der Anlage (vgl. *fconv* in 2.1.2).

m Nachfragesegment nach Nutzenergie (Anwendergruppe und Verwendungsart) [z.B. Wärme für den Sektor Haushalt]

In den Nachfragerestriktionen könnte für alle Sektoren, die nicht von einer gekoppelten Technologie bedient werden, "=" anstelle von "≥" stehen. Die Zielfunktion verhindert jedoch eine 'unnötige' Produktion von Nutzenergie. In MESSAGE steht generell "≥", weil einige alte Softwarepakete zur Lösung von LP, die vom HASA angewandt wurden, Schwierigkeiten mit Gleichungsrestriktionen haben.

Ein Beispiel zur Ungleichung (1):

$$.69 X_{Oelheizung}^t + .75 X_{Elektroheizung}^t + + .50 X_{Holzheizung}^t \geq Nachfrage_{Haushaltswaerme}^t \quad (1a)$$

2.1.2 Bedarf an Endenergie

Die folgende Restriktion beschreibt den Bedarf an Endenergie. Die Bedarfsvariablen $R_{l,j}^t$ sind zu unterscheiden von den Verfügbarkeiten (vgl. 2.1.3 und 2.1.4). Sie erscheinen als Resultate und ersparen damit dem Benutzer die Umrechnung mit $fconv$ und η .

$$\sum_i fconv_{i,l} X_i^t \leq \sum_j R_{l,j}^t \quad (2)$$

Einheit: [TJ]

mit:	
t	= 1,..11 (Zeitperioden)
X_i^t	jährliche Umwandlung von End- in Nutzenergie während Zeitperiode t durch Technologie i [TJ]
$R_{l,j}^t$	jährlicher Bedarf an Endenergie l in Kostenkategorie j während der Zeitperiode t
$fconv_{i,l}$	Eigenverbrauch an Endenergie l der Technologie i [input/output]
i	Umwandlungstechnologie
l	Endenergieart
j	Kostenkategorie

* $fconv$ dient der Modellierung von Umwandlungstechnologien, die parallel zum Umwandlungsprozess zusätzliche Endenergie verbrauchen. Auf diese Weise könnte man etwa die Stromzufuhr ab Kraftwerk bis zum Verbrauch (Übertragungsverluste!) modellieren. In unserem Modell (vgl. Kap. 3) ist bis auf erwähnte Ausnahmen $fconv$ überall auf 1.00 gesetzt.

2.1.3 Totale Verfügbarkeit der Endenergie

Die folgenden zwei Restriktionen beschreiben die Verfügbarkeit der Endenergie. Die Grössen $rlim_{l,j}$ bezeichnen die verfügbaren Mengen an Endenergie für den ganzen Planungszeitraum, pm_l^t hingegen pro Jahr. Beide Grössen sind als Beschränkungen dem Modell exogen vorzugeben.

$$lp \sum_{t=1}^{11} R_{l,j}^t \leq rlim_{l,j} \quad (3)$$

Einheiten: [TJ]

mit:	
t	= 1,...,11 (Zeitperioden)
$rlim_{l,j}$	totale Verfügbarkeit der Endenergie l in Kostenkategorie j während des ganzen Planungszeitraumes
$R_{l,j}^t$	jährlicher Bedarf an Endenergie l in Kostenkategorie j während der Zeitperiode t
lp	Anzahl Jahre pro Periode
l	Endenergieart
j	Kostenkategorie

2.1.4 Jährliche Verfügbarkeit an Inlandendenergie

$$\sum_{j=1}^{ngr(l)} R_{l,j}^t \leq pm_l^t \quad (4)$$

Einheiten: [TJ]

mit:	
t	= 1,...,11 (Zeitperioden)
pm_l^t	maximale jährliche Verfügbarkeit der Inlandendenergie l in Zeitperiode t
$R_{l,j}^t$	jährlicher Bedarf an Inlandendenergie l in Kostenkategorie j während der Zeitperiode t
$ngr(l)$	Anzahl Inlandkostenkategorien [In der Modellierung des schweizerischen Energiesystems ist keine Inlandendenergie in mehr als einer Kostenkategorie verfügbar.]
j	Kostenkategorie
l	Inlandendenergieart

2.1.5 Kapazitäten der Umwandlungstechnologien

Die folgende Kapazitätsungleichung beschreibt die Verfügbarkeit der Technologien, falls nicht

unbeschränkte Kapazitäten zur Verfügung stehen.

Zu Beginn der ersten Periode muss eine Anfangskapazität der Umwandlungstechnologie (vgl. 3.2.4) vorgegeben werden. Diese Anfangskapazität wird allerdings nicht direkt in das Modell übernommen. Stattdessen wird sie gemäss eines Wachstumsparameters auf Neubauten in die Perioden **vor Planungsbeginn** umgerechnet. Auf diese Art werden für alle Perioden der geplanten Nutzungsdauer (vgl. 3.2.4) jährliche Kapazitätserweiterungen Y_i^r berechnet, die vor Planungsbeginn erstellt wurden. Diese Kapazitätserweiterungen verursachen allerdings keine Kosten. Für jede Periode **im Planungszeitraum** werden die vorhanden Kapazitäten summiert, die vor Planungsbeginn erstellt wurden, aber in Periode t verfügbar sind.

$$K_i^t = \sum_{r=t-ipl+1}^n lp Y_i^r \quad (5a)$$

Einheiten: [TJ/yr]

Innerhalb des Planungszeitraumes werden die benötigten Kapazitätserweiterungen als LP-Variablen Y_i^r (kostenwirksam) berechnet. Damit lassen sich zusammen mit Gleichung (5a) Kapazitätsbeschränkungen für X_i^t (Umwandlungsaktivität) generieren.

$$X_i^t \leq K_i^t pf_i + \sum_{r=\max[1, t-ipl+1]}^t lp pf_i Y_i^r \quad (5)$$

Einheiten: [TJ/yr]

mit:

t	=	1,...,11 (Zeitperioden)
r	=	...,0,1,...,11 (Zeitperioden)
X_i^t		jährliche Umwandlung von End- in Nutzenergie während Zeitperiode t durch Technologie i [TJ]
Y_i^r		jährliche Kapazitätserweiterung zur Produktion von Nutzenergie mit Technologie i während der Periode r [in Gleichung (5a) vor Planungsbeginn]
K_i^t		in Periode t verfügbare Kapazität, die vor Planungsbeginn erstellt wurde
lp		Anzahl Jahre pro Periode
ipl		geplante Nutzungsdauer der Anlage in Perioden
pf_i		Betriebsfaktor der Technologie i ; ($pf_i \in [0,1]$) [*]
lp		Anzahl Jahre pro Periode
i		Umwandlungstechnologie

* Der Betriebsfaktor gibt an, während welchem Teil eines Jahres eine Technologie in Betrieb ('aktiv') ist. [z.B. 1752 Stunden/Jahr oder 20%]

2.1.6 obere Schranken auf Kapazitätserweiterung

Die folgende Ungleichung beschränkt Y_i^t , die jährlichen Kapazitätserweiterungen in Periode t (entsprechen den Y_i^t in Gleichung 5) und zusammen mit Gleichung (5) auch X_i^t , die jährlichen Umwandlungsaktivitäten von der End- in die Nutzenergie in Periode t .

$$Y_i^t \leq bv_i^t \quad (6)$$

Einheiten: [TJ/yr]

mit:

bv_i^t obere Schranke auf der jährlichen Kapazitätserweiterung für Technologie i in Zeitperiode t

2.1.7 Schranken auf dem Import von Endenergie

Die folgende Restriktion beschränkt den Energieimport in gleichem Sinne wie 2.1.4. Wenn man einen negativen Import zulässt, kann man den wechselseitigen Energietransfer (Import - Export) modellieren.

$$R_{l,j}^t \leq px_{l,j}^t \quad \forall j, \forall l \quad (7)$$

Einheiten: [TJ]

mit:

$t = 1, \dots, 11$ (Zeitperioden)

$j = 1, \dots, \text{imp}(l)$ (Kostenkategorien)

$R_{l,j}^t$ jährlicher Bedarf an Endenergie l in Kostenkategorie j während der Zeitperiode t

$px_{l,j}^t$ maximaler jährlicher Import von Endenergie l während Zeitperiode t (exogene Schranke)

$\text{imp}(l)$ Anzahl Kostenkategorien im Import von Endenergie l

l Endenergieart

2.1.8 Weitere Beschränkungen

Neben den beschriebenen Restriktionen bietet MESSAGE einige weitere Modellierungsmöglichkeiten, nämlich das Setzen von oberen und unteren Beschränkungen für:

- Emission von Schadstoffen (von uns nicht aktiviert)
- Konzentration von Schadstoffen (von uns nicht aktiviert)
- Variablen der jährlichen Energieumwandlung X und der jährlichen Kapazitätserweiterung Y (vgl. dazu 2.1.6)

2.2 Zielfunktion

Die Zielfunktion ist die Summe der diskontierten Kosten des Kapitals (Investition), des Unterhalts und des Betriebes (laufende Kosten), sowie der Brenn- und Treibstoffe (Endenergiekosten).

In der Kurzfassung sieht die Zielfunktion wie folgt aus:

$$\sum_{t=1}^{11} \beta(t) l_p \left\{ d(t)' Y(t) + c' X(t) + b(t)' R(t) \right\} \quad (8)$$

mit:

t	=	Zeitperiode
β	=	Diskontfaktor
lp	=	Anzahl Jahre pro Periode
d	=	Vektor der Kapitalkosten
Y	=	Vektor der Kapazitätszunahmen (LP-Variablen)
c	=	Vektor der Betriebs- und Unterhaltskosten
X	=	Vektor der Energieumwandlungsaktivitäten (LP-Variablen)
b	=	Vektor der Energiepreise (Endenergie)
R	=	Vektor des Endenergieverbrauchs (LP-Variablen)

Im Detail sehen die einzelnen Teile wie folgt aus:

2.2.1 Kapitalkosten

$$\sum_{t,i} l_p Y_i^t c a p_i \beta^{lp \ t - lp} (1 - t v_i) \quad (9)$$

Einheiten: [10³ sFr.]

mit folgenden jährlichen Investitionen in Zeitperiode t:

2.2.1.1 Investitionskosten

$$\sum_i Y_i^t c a p_i \quad (9a)$$

Einheiten: [10³ sFr.]

2.2.2 Unterhalts- und Betriebskosten

$$\sum_{t,i} l_p X_i^t c u r_i \beta^{lp \ t - \frac{lp}{2}} \quad (10)$$

Einheiten: [10³ sFr.]

2.2.3 Energiekosten

$$\sum_{t,l,j} lp R_{l,j}^t rc_{l,j} \beta^{lp t - \frac{lp}{2}} \quad (11)$$

Einheiten: [10³ sFr.]

mit:

t = 1,...,11 (Zeitperioden)
 l variierend über alle Endenergiearten
 j variierend über alle Kostenkategorien
 i variierend über alle Umwandlungstechnologien

X_i^t jährliche Umwandlung von End- in Nutzenergie während Zeitperiode t durch Technologie i [TJ]

$R_{l,j}^t$ jährlicher Bedarf an Endenergie l in Kostenkategorie j während der Zeitperiode t [TJ]

Y_i^t jährliche Kapazitätserweiterung für die Produktion von Nutzenergie mit Technologie i während der Zeitperiode t [TJ/yr]

β Diskontfaktor für ein Jahr; $\beta = \frac{1}{1 + \frac{\text{Zinsrate}}{100}}$; (z.B. $\frac{1}{1 + \frac{6}{100}} \approx 0.943$)

cap_i Kapitalkosten der Technologie i

cur_i Betriebskosten der Technologie i

$rc_{l,j}$ Kosten der Endenergie l in Kostenkategorie j

tv_i Endwertfaktor* (gelesen $[tv_i]$, nicht $t \cdot v_i$)
 Der Endwertfaktor dient der Abgeltung von Umwandlungskapazitäten, die am Ende des Planungshorizontes noch verfügbar sind.

lp Anzahl Jahre pro Periode

ipl geplante Nutzungsdauer der Anlage in Perioden

np Anzahl Perioden des Planungshorizontes

Die gewählte Form der Zielfunktion erlaubt eine angemessene Brücke zu ökonomischen Betrachtungen. Insbesondere gibt die Zielfunktion die Rahmenbedingungen zu langfristigen Investitionsprogrammen. Ebenso erlaubt sie, die gesamten Kosten der nachgefragten Energie zu bestimmen unabhängig davon, ob die Nachfrage nun durch Inland- oder importierte Energie gedeckt wird, wobei natürlich i.A. verschiedene Preise für die beiden Arten gelten. Bei der Bestimmung des Barwertes insbesondere der Investitionskosten mit dem Diskontfaktor β ist darauf zu achten, dass die Inflation **nicht** berücksichtigt ist.

* $tv_i = \begin{cases} \beta^{lp(np+1-t)} & \text{falls } t > np - (ipl - 1) \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$

2.3 Technische Anmerkungen

2.3.1 Ganzzahligkeit

MESSAGE II böte die Möglichkeit, mit zusätzlicher Software eine gemischt - ganzzahlige Lösung zu bestimmen. Dies ist insbesondere von Bedeutung auf der Stufe Primärenergieumwandlung, etwa für den Bau von Kraftwerken. Am Institut verfügen wir nicht über diese zusätzliche Option, und unsere Erfahrung mit MESSAGE beruht daher auf stetigen Lösungen.

2.3.2 Dekomposition

Eine weitere Option böte MESSAGE II in der Dekomposition des Problems. Diese Möglichkeit wurde insbesondere für kleine Computeranlagen geschaffen, um auch dort umfassende Energiesysteme modellieren zu können. Die Idee der Dekomposition liegt in der anfänglichen Unterteilung des Gesamtproblems in kleinere, sektorale Probleme mit anschliessender Gesamtbetrachtung und Evaluierung der Lösungen der Subprobleme.

2.4 Programmablauf

Das zu MESSAGE gehörige Computerprogramm verarbeitet die von aussen einzugebenden Inputdaten und erstellt ein Linearprogramm im standardisierten MPS-Format[18, p.12ff]. Das Lösen des LP's hat mittels Optimierungssoftware zu erfolgen. Wir verwendeten ausschliesslich MPSX/370[18], das am Rechenzentrum der Universität Zürich verfügbar ist.

3. Modellierung der Version Schweiz

Mit den Möglichkeiten, die das mathematische Modell bietet, ist ein Ausschnitt des schweizerischen Energiesystems abzubilden. Nach dem Anpassen des Modells an den Fall Schweiz geht es unmittelbar darum, die statistisch relevanten Daten aufzuarbeiten, oder wenn die gewünschten Daten nicht verfügbar sind, vernünftige Annahmen zu treffen. Somit stehen in diesem Kapitel zwei Hauptpunkte an:

- Bestimmung der Modellparameter im Computerprogramm
- Aufarbeitung der exogenen Input - Daten

3.1 Modellgrößen

Als Ausschnitt aus dem schweizerischen Energieflussdiagramm[6, p.4] wird die Umwandlung zwischen Endverbrauch und Nutzverbrauch detailliert modelliert. Die Gründe für diese Wahl sind in der Einleitung wiedergegeben.

3.1.1 Energienachfrage

Auf der Stufe Nutzenergie[6, p.33] [26, p.19] führt die Schweizerische Gesamtenergiestatistik die folgenden vier Verbrauchergruppen:

Haushalt	Gewerbe, Landwirtschaft und Dienstleistungen	Industrie	Verkehr
----------	---	-----------	---------

Tabelle 1. Verbrauchergruppen der Nutzenergie

Die Nutzenergie wird in folgenden Anwendungsgebieten verbraucht:

Wärme	Mechanische Arbeit	Chemie	Licht
-------	--------------------	--------	-------

Tabelle 2. Anwendungsgebiete der Nutzenergie

Das Anwendungsgebiet "Chemie" wird nur von der Verbrauchergruppe Industrie geführt. Somit ergeben sich insgesamt **dreizehn** Nachfragesegmente nach Nutzenergie. (Im Inputfile für das Computerprogramm sind sie zur eindeutigen Unterscheidung mit einem Identifizierungsbuchstaben bezeichnet: A-HEAT (Wärme im Haushalt), B-MECHANICAL WORK (mechanische Arbeit im Haushalt), C-LIGHT (Licht im Haushalt) M-LIGHT (Licht im Sektor Verkehr.) Eine weitere Verfeinerung, etwa der Verbrauchergruppe Gewerbe, Landwirtschaft und Dienstleistungen, wäre zwar wünschenswert, aber wegen der fehlenden Daten nicht realisierbar.

3.1.2 Energieangebot

Die Schweizerische Gesamtenergiestatistik führt auf der Stufe Endenergie in den zusammengefassten Statistiken acht Energieträger[6, p.12f, 16 und 24]. Dabei unterscheiden wir zusätzlich zwischen Inlandproduktion, Import und Export, wobei 1982 95% des schweizerischen Energieexportes auf die

Elektrizität[6, p.13] entfiel. Der Stromexport ist zwar ein zusätzlicher Verbrauch an Endenergie und kein Angebot, wird aber im Modell als negatives Angebot abgebildet, das von der Inlandproduktion und vom Import gedeckt werden muss. Es wäre denkbar, nur die Summe des grenzüberschreitenden Elektrizitätstransfers (positiv bei Importüberschuss und negativ bei Exportüberschuss) zu betrachten oder nur den Stromimport zu modellieren, weil der Stromexport nichts mit der Umwandlung der End- in die Nutzenergie zu tun hat, doch scheint uns die gewählte Lösung für das schweizerische Energiesystem angemessen. Somit ergibt sich insgesamt folgendes Bild für das Angebot an Endenergie:

Flüssige Brenn- stoffe	Flüssige Treib- stoffe	Elektri- zität	Gas	Kohle und Koks	Holz	Fern- wärme	Industrie- abfälle
Inland Import	Inland Import	Inland Import Export	Import	Import	Inland Import	Inland	Inland

Tabelle 3. Endenergieangebot mit verschiedenen Kategorien

3.1.2.1 Totale Verfügbarkeit

Für alle in der obigen Tabelle aufgeführten Endenergiekategorien haben wir eine unendliche (numerisch grosse) Verfügbarkeit (vgl. 2.1.3) über den ganzen Planungshorizont (11 Perioden à 2 Jahren = 22 Jahre) **angenommen**. Das Setzen dieser Schranke ist im Modell zwingend.

3.1.2.2 Jährliche Verfügbarkeit der Inlandendenergiekategorien

Für die folgenden Endenergiearten, die im Inland aufbereitet werden, haben wir mit nachfolgender Begründung jährliche obere Angebotsschranken gesetzt (vgl. 2.1.4):

- Flüssige Brennstoffe: Die Beschränkung drängt sich durch die Kapazität der beiden inländischen Raffinerien auf.
- Flüssige Treibstoffe: Die Beschränkung drängt sich durch die Kapazität der beiden inländischen Raffinerien auf.
- Elektrizität: Einerseits wird die Erzeugung von elektrischer Energie durch die verfügbaren Kraftwerke (konventionell und nuklear), andererseits durch das hydrologische Jahr (Flussstand und Zuflüsse zu den Stauseen) beschränkt.
- Holz: Nach dem Waldgesetz darf die gesamtschweizerische Waldfläche nicht kleiner werden, eine Rodung ohne Ersatz ist also ausgeschlossen. Dadurch sind der Waldwirtschaft natürliche, wenn auch hohe, Grenzen der Brennholzproduktion gesetzt.
- Fernwärme: Das Angebot an Fernwärme ist durch die Anzahl der Fernwärmezentralen beschränkt.
- Industrieabfälle: Nur für einen bescheidenen Teil der anfallenden Industrieabfälle sind die notwendigen Heizzentralen für die Wärmenutzung vorhanden.

3.1.2.3 Jährliche Importschranken

Im Importenergieangebot haben wir folgende beschränkenden **Annahmen** getroffen (vgl. 2.1.7):

Flüssige Brennstoffe:	keine jährlichen Importschranken
Flüssige Treibstoffe:	keine jährlichen Importschranken
Stromimport:	Die Importmöglichkeiten sind beschränkt durch die Leitungskapazität und die internationalen Lieferverträge.
Stromexport:	Die Exportmöglichkeiten sind beschränkt durch die Leitungskapazität und die internationalen Lieferverträge.
Gas:	keine jährlichen Importschranken
Kohle u. Koks:	keine jährlichen Importschranken
Holz:	keine jährlichen Importschranken

3.1.3 Technologien

3.1.3.1 Sammeltechnologien

Die schweizerische Gesamtenergiestatistik[6, p.34] führt insgesamt 32 Sammeltechnologien^{*} mitsamt Wirkungsgrad für die Umwandlung der End- in die Nutzenergie. In einem ersten Schritt wollten wir je einen typischen Vertreter dieser vorgegebenen Umwandlungstechnologien modellieren; so haben wir etwa für die Umwandlung der flüssigen Brennstoffe in Wärme für den Haushalt den Spezialkessel mit Zentralspeicher[32, p.2-1ff] gewählt. Dies ergibt folgendes Bild (In der Bezeichnung stehen die ersten drei Buchstaben für den Input und die letzten fünf für den Output):

Nr	Name	Input	Output	Verbrauchergruppe	Bemerkung
1	LIQAHEAT	fl. Brennstoff	Wärme	Haushalt	Spezialkessel
2	ELEAHEAT	Elektrizität	Wärme	Haushalt	Zentralspeicher
3	GASAHEAT	Gas	Wärme	Haushalt	Spezialkessel
4	COAAHEAT	Kohle	Wärme	Haushalt	Spezialkessel
5	WOOAHEAT	Holz	Wärme	Haushalt	Spezialkessel
6	DISAHEAT	Fernwärme	Wärme	Haushalt	
7	ELEBMEWO	Elektrizität	mech. Arbeit	Haushalt	
8	ELECLIGH	Elektrizität	Licht	Haushalt	

Tabelle 4. Sammeltechnologien, Teil 1

* Mit dem Begriff "Sammeltechnologien" bezeichnen wir ähnliche, unter einer einzigen Bezeichnung zusammengefasste Umwandlungstechnologien, etwa Ölheizung für die grosse Anzahl verschiedener Brenner- und Kesseltypen.

Nr	Name	Input	Output	Verbraucher- gruppe	Bemerkung
9	LIQDHEAT	fl. Brennstoff	Wärme	G-L-D	Spezialkessel
10	ELEDHEAT	Elektrizität	Wärme	G-L-D	Zentralspeicher
11	GASDHEAT	Gas	Wärme	G-L-D	Spezialkessel
12	COADHEAT	Kohle	Wärme	G-L-D	Spezialkessel
13	WOODHEAT	Holz	Wärme	G-L-D	Spezialkessel
14	DISDHEAT	Fernwärme	Wärme	G-L-D	Spezialkessel
15	FUEEMEWO	fl. Treibstoff	mech. Arbeit	G-L-D	
16	ELEEMEWO	Elektrizität	mech. Arbeit	G-L-D	
17	ELEFLIGH	Elektrizität	Licht	G-L-D	
18	LIQGHEAT	fl. Brennstoff	Wärme	Industrie	Spezialkessel
19	ELEGHEAT	Elektrizität	Wärme	Industrie	Zentralspeicher
20	GASGHEAT	Gas	Wärme	Industrie	Spezialkessel
21	COAGHEAT	Kohle	Wärme	Industrie	Spezialkessel
22	WOOGHEAT	Holz	Wärme	Industrie	Spezialkessel
23	DISGHEAT	Fernwärme	Wärme	Industrie	
24	INDGHEAT	Abfälle	Wärme	Industrie	
25	ELEHMEWO	Elektrizität	mech. Arbeit	Industrie	
26	ELEICHIM	Elektrizität	Chemie	Industrie	
27	COAICHIM	Kohle	Chemie	Industrie	
28	ELEJLIGH	Elektrizität	Licht	Industrie	
29	ELEKHEAT	Elektrizität	Wärme	Verkehr	
30	ELELMEWO	Elektrizität	mech. Arbeit	Verkehr	
31	FUELMEWO	fl. Treibstoff	mech. Arbeit	Verkehr	
32	ELEMLIGH	Elektrizität	Licht	Verkehr	

Tabelle 5. Sammeltechnologien, Teil 2

Nicht weniger als 7 Nachfragesegmente werden nur von einer einzigen Umwandlungstechnologie bedient (Nr. 7, 8, 17, 25, 28, 29 und 32). Für diese Energieflüsse gibt es nichts zu optimieren, und vom mathematischen Standpunkt aus könnte man die erwähnten Technologien ersatzlos streichen. Aus energiewirtschaftlicher Sicht ist es hingegen sinnvoll, der Vollständigkeit und Vergleichbarkeit mit der Gesamtenergiestatistik wegen alle Technologien im Modell zu behalten.

3.1.3.2 Zusätzliche Technologien

Nach einigen Testläufen mit den Sammeltechnologien von 3.1.3.1 schien es uns angebracht, einige zusätzliche, besonders interessante Technologien mit in das Modell einzubeziehen. Bei der Heizung mittels Sonnenkollektoren [SUNAHEAT und SUNDHEAT] verzichten wir (vorläufig) auf die Modellierung eines Endenergieverbrauches für Zusatzinstallationen wie Umwälzpumpe usw. Diese Vereinfachung verfälscht die Resultate (vgl. Kap. 4) nicht, da die Sonnenenergie mit unseren Kostendaten keinen Anteil an der Endenergiezusammensetzung übernimmt.

Nr	Name	Input	Output	Verbraucher- gruppe	Bemerkung
33	ISOAHEAT	kein Verbrauch an Endenergie	Wärme	Haushalt	Isolation an Häusern
34	PUMAHEAT	Elektrizität	Wärme	Haushalt	Wärmepumpe, monovalent Luft
35	SUNAHEAT	kein Verbrauch an Endenergie	Wärme	Haushalt	Heizung mit Sonnenkollektor
36	TWODHEAT	fl. Brennstoff	Wärme Elektrizität	G-L-D	Wärme-Kraft- Kopplung
37	SUNDHEAT	kein Verbrauch an Endenergie	Wärme	G-L-D	Heizung mit Sonnenkollektor
38	TWOGHEAT	fl. Brennstoff	Wärme Elektrizität	Industrie	Wärme-Kraft- Kopplung

Tabelle 6. Zusätzliche Technologien

Damit ist der Modellrahmen (Nutzenergienachfrage, Endenergieangebot und Umwandlung) bestimmt.

3.2 Exogene Inputdaten

Auf der Grundlage der Modellbeschreibung stehen folgende Daten im Vordergrund:

- Nachfrage nach Nutzenergie der Verbraucher (vgl. 2.1.1.)
- totale Verfügbarkeit an Endenergien (vgl. 2.1.3.)
- jährliche Verfügbarkeit an Inland - Endenergien (vgl. 2.1.4.)
- Importschranken für Endenergien (vgl. 2.1.7.)
- Kapitalkosten (vgl. 2.2.1.)
- Betriebs- und Unterhaltskosten (vgl. 2.2.2.)
- Energiekosten (vgl. 2.2.3.)
- Kennzahlen der Umwandlungstechnologien (vgl. 3.1.3)

Die Beschaffung der zur Modellierung notwendigen statistisch relevanten Daten bescherte uns enorme Schwierigkeiten. Einerseits fehlte uns die Erfahrung in diesem Bereich, andererseits entsprachen entweder die vorhandenen Daten nicht unseren (ev. speziellen) Wünschen, oder die gewünschten Daten waren schlichtweg nirgends vorhanden. Trotz allen Widerwärtigkeiten wagten wir einen Versuch zur Aufarbeitung der notwendigen Daten.

3.2.1 Nachfrage nach Nutzenergie

Es liegen (unseres Wissens) keine neueren[44, p.1397ff] detaillierten Prognosen über die künftige Nutzenergienachfrage in der Schweiz vor. Hingegen existieren Prognosen auf Stufe **Endenergie**, insbesondere für die Elektrizität, etwa im Zusammenhang mit dem Bedarfsnachweis für neue Kernkraftwerke oder im Schlussbericht der Eidg. Kommission für eine Gesamtenergiekonzeption (GEK)[9, p.11ff] [10] [36], die mit den Ergebnissen unserer Tests in Kapitel 4 vergleichbar sind, die wir aber hier nur bedingt zu Rate ziehen können. Für die Startperiode, beginnend mit dem Jahre 1982, sind die Nachfragewerte aus der Statistik entnommen[6, p.34].

3.2.1.1 Nachfrage nach Wärme im Haushalt

Im Projekt ZENCAP beschäftigt sich Kirchgässner[21, p.9] intensiv mit der Nachfrageentwicklung für Energie und zeigt seinen eigenen Ansatz am Beispiel der Wärme für den Haushaltsektor. Für das Jahr 2000 rechnet er mit einer Nachfrage von 204'510 TJ Wärme. Dabei rechnet er mit 3 Mio Wohnungen im Jahr 2000, womit er über den Berechnungen von Angelini[3, p.17] liegt. Wir haben uns entschlossen, die Werte für die Perioden zwischen 1982 (Gesamtenergiestatistik) und 2000 (Prognose Kirchgässner) mit konstanten jährlichen Zuwachsraten zu interpolieren (jährliche Zuwachsrate: 2.28%) und den Wert für 2002 mit derselben Zuwachsrate zu berechnen. Wenn diese Art der Interpolation auch als altmodisch erscheinen mag, verhindert sie, dass unbegründete und fragwürdige Trendänderungen in den Nachfrageprognosen (etwa Reduktion der jährlichen Zuwachsraten ab dem Jahre 1991) zu einer instabilen Entwicklung in der Zusammensetzung der Endenergie führen.

Für diesen Nachfragesektor haben wir bewusst auf eine Reduktion der Nachfrage durch Sparmassnahmen verzichtet, weil wir den Spareffekt durch die Hausisolation (Technologie ISOAHEAT) explizit berechnen möchten.

Die Wertereihe für Wärme im Haushalt ist in Tabelle 7 zu finden.

3.2.1.2 Nachfrage nach mechanischer Arbeit im Haushalt

Die Überlegungen von 3.2.1.1 dürften in etwa auch hier zutreffen. Die Anzahl der Haushalte und damit auch die Anzahl der Haushaltgeräte wird zunehmen. Hingegen dürften bessere, leistungsoptimalere Geräte auf den Markt kommen. Die GEK rechnet in Szenarium I (eingriffslose Entwicklung) mit einer gesamten Wachstumsrate (somit auch für Haushaltgeräte) von 2.5%[10, p.143], während aus anderen Quellen vergleichbare Zahlen kaum zu berechnen sind[46, p.24] oder ganz fehlen[17]. Wir **nehmen an**, die Nachfrage nach mechanischer Arbeit im Haushalt (siehe Tabelle 7) nehme ab dem Jahre 1982 jährlich um 2.0% zu.

3.2.1.3 Nachfrage nach Licht im Haushalt

Die Nachfrage nach Licht im Haushalt wird im wesentlichen bestimmt durch den vorhandenen Wohnraum. Kirchgässner[21, p.9] rechnet mit einer jährlichen Zunahme der Wohnungen (konstante jährliche Zuwachsrate vorausgesetzt) von 1.09%. Wir **nehmen an**, dass diese Zunahme zur Hälfte durch bessere Lampen kompensiert werde deren Wirkungsgrad wir in der Technologie ELECLIGH nicht berücksichtigen können (konstanter Wirkungsgrad im Modell vorgegeben). Deshalb rechnen wir mit der halben Zunahme, also 0.55% jährlich.

Für den Haushaltsektor rechnen wir somit insgesamt mit folgender Nachfrageentwicklung für Nutzenergie:

Jahr	Wärme [TJ]	mech. Arbeit [TJ]	Licht [TJ]
1982	136190	4090	430
1984	142483	4255	435
1986	149067	4427	439
1988	155956	4606	444
1990	163163	4792	449
1992	170702	4986	454
1994	178590	5187	459
1996	186843	5397	464
1998	195477	5615	469
2000	204510	5842	474
2002	213960	6078	480

Tabelle 7. Nachfrage nach Nutzenergie im Haushaltsektor

3.2.1.4 Nachfrage nach Wärme in Gewerbe - Landwirtschaft - Dienstleistung

Eine ausführliche Nachfrageentwicklung für diesen Sektor ist nicht zu finden. Sie fehlt beispielsweise in einer Studie des SGZZ (St. Galler Zentrum für Zukunftsforschung)[36, p.94f]. Hingegen sind Überlegungen bezüglich Raumwärme - Annahmen in einer Studie des ORL[17, p.88] zu finden. Von Interesse ist ebenso die Prognose im GEK-Schlussbericht, die auf ein Bruttoinlandprodukt(BIP) - Wachstum von 2.5%[10, p.158f] jährlich lautet. Diese Tatsachen führten uns zu folgender Überlegung: Der Anteil der Landwirtschaft am BIP wird wahrscheinlich weiter sinken, derjenige des Gewerbes in etwa konstant bleiben, hingegen der Anteil der Dienstleistungen am BIP seinen starken Anstieg beibehalten können. Der Dienstleistungssektor wiederum ist geprägt durch grosse Verwaltungsgebäude und Kundenbedienungsräume, die intensiv Wärme nachfragen. **Unsere Annahme:** Auf der Grundlage des Wärmeverbrauches von 1982 (88'260 TJ) rechnen wir mit einer überdurchschnittlichen jährlichen Zunahme von 3.0%. Die Wertereihe ist in Tabelle 8 wiedergegeben.

3.2.1.5 Nachfrage nach mechanischer Arbeit in G - L - D

Für die Nachfrage nach mechanischer Arbeit gelten die gleichen Anmerkungen wie für die Nachfrage nach Wärme. Konsequenterweise treffen wir die **gleiche Annahme** (Zuwachs jährlich: 3%), umso mehr als die Vielzahl der Elektronikgeräte und ihre Folgeeinrichtungen einen bedeutenden Energieverbrauch aufweisen. Die Wertereihe ist in Tabelle 8 zu finden.

3.2.1.6 Nachfrage nach Licht in Gewerbe - Landwirtschaft - Dienstleistung

Für die Nachfrage nach Licht gelten ähnliche Überlegungen wie in den beiden voranstehenden Abschnitten. Allerdings rechnen wir mit einer weiteren Arbeitszeitreduktion, sowie einer Abnahme der Schichtarbeit auch im Dienstleistungssektor. Deshalb reduzieren wir die Zuwachsrate der vorangehenden Anwendungsgebiete um einen Drittel und **nehmen an**, die Nachfrage nach Licht steige jährlich um 2%.

Insgesamt rechnen wir für die zweite Verbrauchergruppe mit folgender Nutzenergienachfrage:

Jahr	Wärme [TJ]	mech. Arbeit [TJ]	Licht [TJ]
1982	88260	6830	580
1984	93635	7246	603
1986	99337	7687	628
1988	105387	8155	653
1990	111805	8652	680
1992	118614	9179	707
1994	125838	9738	736
1996	133501	10331	765
1998	141631	10960	796
2000	150257	11628	828
2002	159407	12336	862

Tabelle 8. Nachfrage nach Nutzenergie im Sektor G - L - D

3.2.1.7 Nachfrage nach Wärme in der Industrie

Auch für die Nachfrage nach Wärme in der Industrie sind keine "massgeschneiderten" Prognosen vorhanden. Doch gibt es einige Anhaltspunkte. Seit 1977 ist die Nachfrage für dieses Segment abnehmend oder konstant und lag 1983 auf dem Niveau von 1963[7, Anhang 2]. Die Zahl der Beschäftigten in der Industrie ist seit 1976 ungefähr konstant[39, p.255]. In einer Zusatzstudie zur GEK wird dagegen für den Sektor Industrie mit einer Steigerung der gesamten Energienachfrage (alle vier Anwendungsgebiete), aber bereits auf **Stufe Endenergie**, von jährlich zwischen 2.69% und 3.50% gerechnet[36, p.89]. Wir erwarten aber eine Arbeitszeitreduktion und treffen deshalb folgende **Annahme**: Ab 1982 (66'460 TJ) rechnen wir mit einer jährlichen Zunahme von 0.5%, erreichen damit im Jahre 2002 (73'431 TJ) ungefähr den Nachfragestand von 1975 und 1968[6, Anhang 2]. Die vollständige Wertreihe findet sich in Tabelle 9.

3.2.1.8 Nachfrage nach mechanischer Arbeit in der Industrie

In den letzten fünf Jahren nahm die Nachfrage nach mechanischer Arbeit in der Industrie um durchschnittlich jährlich 4.0% (Nutzenergieverbrauch 1977 [19550TJ] verglichen mit 1982 [23810TJ])[6, Anhang 2] zu. Hingegen rechnet die GEK[10, p.158f] mit einer Zunahme des BIP um 2.5%. Weil die Industrie einen wesentlichen Anteil an das BIP leistet, übernehmen wir den Prognosewert der GEK von 2.5% unverändert für die Nachfrage nach mechanischer Arbeit. Die Wertreihe ist in Tabelle 9 wiedergegeben.

3.2.1.9 Nachfrage nach chemischer Prozessenergie in der Industrie

Die Vergangenheitswerte für die "Nachfrage nach Chemie" sind schwankend, ein klarer Trend ist nicht herauszulesen[7, Anhang 2]. Weil separate Überlegungen für mögliche Nachfrageentwicklungen in diesem Sektor fehlen und der Anteil der "Chemie" an der Nutzenergienachfrage

der Verbrauchergruppe Industrie 1982 nur gerade 8% ausmachte, haben wir die **Annahme** für die Nachfrage nach Wärme in der Industrie (jährliche Zunahme 0.5%) auch für die "Chemie" übernommen. Die Wertereihe ist in Tabelle 9 zu finden.

3.2.1.10 Nachfrage nach Licht in der Industrie

Die Überlegungen für die drei anderen Anwendungsgebiete (ungefähr konstante Anzahl Beschäftigter, Arbeitszeitreduktion) und eine Eindämmung der Schichtarbeit auch in der Industrie (Einsatz von Automaten, Roboter etc.) führten uns zu folgender **Annahme**: Die Nachfrage nach Licht nimmt jährlich um 1.0% ab.

Insgesamt rechnen wir für die dritte Verbrauchergruppe mit folgender Nutzenergienachfrage:

Jahr	Wärme [TJ]	mech. Arbeit [TJ]	Chemie [TJ]	Licht [TJ]
1982	66460	23810	8240	180
1984	67126	25015	8323	176
1986	67799	26282	8406	173
1988	68479	27612	8490	169
1990	69165	29010	8575	166
1992	69859	30479	8661	163
1994	70559	32022	8748	160
1996	71266	33643	8836	156
1998	71981	35346	8925	153
2000	72703	37135	9014	150
2002	73431	39015	9104	147

Tabelle 9. Nachfrage nach Nutzenergie in der Industrie

3.2.1.11 Nachfrage nach Wärme im Verkehr

In den letzten Jahren ist der Verbrauch von Wärme im Verkehrssektor ungefähr konstant geblieben[7, Anhang 2]. In der ORL-Studie ist der Verkehr nur als gesamte Verbrauchergruppe aufgeführt und nicht in die Anwendungsgebiete aufgeteilt[17, p.90ff]. Die GEK wiederum prognostiziert auf **Stufe Endenergie** für die ganze Verbrauchergruppe Verkehr eine jährliche Zunahme von 1.3% (Szenarium I - eingriffslose Entwicklung)[10, p.166]. Wir dürften mit **unserer Annahme** im Rahmen liegen, wenn wir mit einer jährlichen Zunahme der Nachfrage von 0.5% rechnen. Die vollständige Wertereihe ist in Tabelle 10 wiedergegeben.

3.2.1.12 Nachfrage nach mechanischer Arbeit im Verkehr

Innerhalb der Verbrauchergruppe Verkehr ist dieses Anwendungsgebiet der Dominator (ungefährer Anteil von 99%). In der ORL - Studie sind zwar detaillierte Schätzungen zu finden, aber mit einer Spannweite von -10% bis +50% in 10 Jahren[17, p.90]. In den letzten vier Jahren ist die Nachfrage jährlich durchschnittlich um etwa 2% (Nachfrage 1978 [40340 TJ] verglichen mit 1982 [43670 TJ])[6, Anhang 2] gestiegen. Diesen Wert übernehmen wir als **Annahme**. Die Wertereihe

ist in Tabelle 10 zu finden.

3.2.1.13 Nachfrage nach Licht im Verkehr

Für dieses Anwendungsgebiet gelten die gleichen Überlegungen wie für die Wärme. Wir übernehmen **die Annahme**, dass die Nachfrage jährlich um 0.5% steigen werde.

Für die gesamte Verbrauchergruppe Verkehr rechnen wir mit folgender Nachfrageentwicklung der Nutzenergie:

Jahr	Wärme [TJ]	mech. Arbeit [TJ]	Licht [TJ]
1982	300	43670	20
1984	303	45434	20
1986	306	47270	20
1988	309	49180	21
1990	312	51166	21
1992	315	53233	21
1994	319	55384	21
1996	322	57622	21
1998	325	59950	22
2000	328	62372	22
2002	331	64891	22

Tabelle 10. Nachfrage nach Nutzenergie im Sektor Verkehr

3.2.1.14 Gesamtnachfrage nach Nutzenergie

In der Tabelle 11 sind die Werte für die Gesamtnachfrage nach Nutzenergie aufgeführt. (Die Gesamtnachfrage nach Nutzenergie hat im Modell MESSAGE keine direkte Bedeutung, ist hier aber der Vollständigkeit wegen wiedergegeben.) Insgesamt ergibt sich eine durchschnittliche jährliche Zunahme nach Nutzenergie zwischen dem Wert von 1982 und demjenigen von 2002 (vgl. Tab. 11) von 2.15%. Leider lassen sich die Werte der Tabelle 11 nicht mit anderen Untersuchungen vergleichen, weil Studien auf der Stufe Nutzenergie in der Aufteilung gemäss Gesamtenergiestatistik fehlen.

Jahr	Nutzenergie [TJ]
1982	379060
1984	395054
1986	411841
1988	429461
1990	447956
1992	467373
1994	487761
1996	509167
1998	531650
2000	555263
2002	580064

Tabelle 11. Gesamtnachfrage nach Nutzenergie

Es soll auch nochmals betont werden, dass diese Werte nicht um der Prognose willen berechnet wurden, sondern als Nachfragerestriktionen ins Modell von MESSAGE einfließen, in dem diese Angaben zwingend verlangt werden. Es ist uns natürlich klar, dass einzelne Angaben bei ganz genauer Untersuchung leicht verschoben werden könnten. Deshalb wäre es verantwortungslos, die aufgeführten Werte unkontrolliert für andere Zwecke zu verwenden. Falls irgendwann exaktere Nachfrageprognosen erhältlich sind, wäre es unser Ziel, MESSAGE mit neuen Inputdaten einzusetzen.

3.2.2 Angebot an Endenergie

Für das Angebot an Endenergie haben wir keine neuen oder "alternativen" Ideen entwickelt (vgl. 3.1.2), sondern uns wie bisher ausschliesslich auf die schweizerische Gesamtenergiestatistik gestützt [6, p.4f, 9 und 34]. Insbesondere haben wir die "Gratisenergien" Luft (für Wärmepumpen [Technologie PUMAHEAT]) und Sonne (für Sonnenkollektoren [Technologien SUNAHEAT und SUNDHEAT]) formal nicht berücksichtigt.

Nochmals zur Bedeutung der Endenergie: Als Ergebnis von MESSAGE soll die kostengünstigste Zusammensetzung der Endenergie berechnet werden, unter der Bedingung, dass mit den modellierten Umwandlungstechnologien (vgl. 3.1.3 und 3.2.4) die Nachfrage nach Nutzenergie (vgl. 3.1.1 und 3.2.1) gedeckt werden muss.

3.2.2.1 Totale Verfügbarkeit der Endenergiearten

Wir sind nicht imstande, Schätzungen über die totalen Angebote an Endenergie während der Zeitdauer 1982 bis 2003 zu machen. Deshalb setzen wir die totale Verfügbarkeit für **alle** modellierten Endenergiearten auf einen Wert, der nie erreicht werden wird. (Als Vergleich wurde 1983 total [alle Arten] 682'970 TJ an Endenergie [7, p.34] verbraucht, womit bei gleichem Verbrauch in 22 Jahren $\approx$ 15 Mio TJ angeboten werden müsste.)

Der Vollständigkeit halber sei die totale Verfügbarkeit für unsere modellierten Endenergiearten wiedergegeben:

Endenergie- art	totale Verfügbarkeit [TJ]
flüssige Brennstoffe (Inland)	9'999'999
flüssige Brennstoffe (Import)	9'999'999
flüssige Treibstoffe (Inland)	9'999'999
flüssige Treibstoffe (Import)	9'999'999
Elektrizität (Inland)	9'999'999
Elektrizität (Import)	9'999'999
Elektrizität (Export)	9'999'999
Gas	9'999'999
Kohle und Koks	9'999'999
Holz (Inland)	9'999'999
Holz (Import)	9'999'999
Fernwärme	9'999'999
Industrieabfälle	9'999'999

Tabelle 12. Totale Verfügbarkeit der Endenergien

3.2.2.2 Jährliche Verfügbarkeiten der Inland - Endenergiearten

Bei den jährlichen Verfügbarkeiten geht es um die Festlegung der Restriktionen von Gleichung 4 (vgl. 2.1.4). Die Werte für die Tabellen 13 und 14 wurden mit folgender Begründung festgelegt:

- Flüssige Brennstoffe:** Im Jahre 1982 wurden in den beiden schweizerischen Raffinerien $\approx 85'000$ TJ flüssige Brennstoffe (Heizöl - Total) erzeugt[6, p.18], im Jahre 1973 hingegen $\approx 175'000$ TJ. Die Kapazität wäre also für mindestens 175'000 TJ vorhanden. Wir rechnen nicht mit dem Bau von zusätzlichen Raffinerien in der Schweiz, aber mit möglichen Ersatzinvestitionen für ausfallende Werke, und treffen folgende **Annahme:** konstantes jährliches Inlandangebot von 180'000 TJ.
- Flüssige Treibstoffe:** Die voranstehenden Ausführungen gelten auch hier, nur sind die Produktionsschwankungen für die Treibstoffe geringer. Wir summieren unter dieser Endenergieart Super- und Normalbenzin, sowie Flugpetrol und Dieseltreibstoff[6, p.18] und treffen folgende **Annahme:** konstantes jährliches Inlandangebot von 70'000 TJ.
- Elektrizität:** Im Jahre 1982 betrug die Inlandproduktion an Strom $\approx 180'00$ TJ[6, p.20]. Im Sechsten Zehn-Werke-Bericht sind Prognosen bis zum Jahre 1990[46, p.13] aufgeführt, die für 1982 ein Angebot von $\approx 190'000$ TJ voraussagten und damit sehr nahe an die tatsächlichen Werte herankamen. Deshalb übernehmen wir diese Werte bis 1990 und rechnen mit den gleichen konstanten Zunahmen weiter, wie sie für die Jahre 1984 bis 1990 berechnet wurden, weil eine vermehrte Nutzung von Kleinanlagen möglich sein sollte. Diese Werte liegen nahe an einem Umfrageergebnis, das als Zusatzstudie zur GEK[40] veröffentlicht wurde. Selbstverständlich müssten diese Werte bei Inbetriebnahme von zusätzlichen Kernkraftwerken nach oben korrigiert werden.

Holz: Gemäss Gesamtenergiestatistik 1982[6, p.11] könnte das Holzangebot kurzfristig verdreifacht werden (von 10'860 TJ auf 32'580 TJ). Wir **nehmen an**, dass langfristig das Angebot doppelt so gross ist wie der Verbrauch 1982.

Fernwärme: Auf dem Verbrauch von 1982 (8'430 TJ[6, p.34]) rechnen wir (als **Annahme**) mit einer jährlichen Angebotserweiterung von 5%. (Die entsprechenden Investitionen setzen wir voraus.)

Industrieabfälle: Hier treffen wir die gleichen **Annahmen** wie für die Fernwärme.

Die jährlichen Verfügbarkeiten der Inland - Endenergien sind in den beiden folgenden Tabellen zusammengefasst:

Jahr	fl. Brennstoffe [TJ]	fl. Treibstoffe [TJ]	Elektrizität [TJ]
1982	180000	70000	190000
1984	180000	70000	201000
1986	180000	70000	205000
1988	180000	70000	207000
1990	180000	70000	209000
1992	180000	70000	211000
1994	180000	70000	213000
1996	180000	70000	215000
1998	180000	70000	217000
2000	180000	70000	219000
2002	180000	70000	221000

Tabelle 13. Jährliche Verfügbarkeiten der Inland - Endenergien, Teil 1

Jahr	Holz [TJ]	Fernwärme [TJ]	Industrieabfälle [TJ]
1982	21720	8430	4880
1984	21720	9294	5380
1986	21720	10247	5932
1988	21720	11297	6540
1990	21720	12455	7210
1992	21720	13732	7949
1994	21720	15139	8764
1996	21720	16691	9662
1998	21720	18402	10652
2000	21720	20288	11744
2002	21720	22367	12948

Tabelle 14. Jährliche Verfügbarkeiten der Inland - Endenergien, Teil 2

3.2.2.3 Importschranken für Endenergie

Für die Beschränkungen der importierten Energie (vgl. 2.1.7 und 3.1.2.3) haben wir folgende Überlegungen angestellt:

- Stromimport:** Während den Jahren 1970 bis 1982 wurde als Spitzenwert 35'810 TJ (1980)[6, p.12] Elektrizität eingeführt. Wir treffen die **Annahme**, dass maximal 40'000 TJ Strom jährlich importiert werden kann.
- Stromexport:** Während den Jahren 1970 bis 1982 wurde als Spitzenwert 73'980 TJ (1981)[6, p.13] Elektrizität ausgeführt. Wir treffen die **Annahme**, dass maximal 75'000 TJ Strom jährlich exportiert werden kann. Diese Annahme (auf Grund der statistischen Daten) liegt rund 100% über den Schätzungen einer EIR-Studie mit MARKAL[24].

Es ist natürlich nicht ganz richtig, für flüssige Brenn- und Treibstoffe, Gas und Holz keine Importschranken zu generieren, doch ist es unmöglich, diese internationalen Marktmechanismen in einer Zahl zu erfassen. Immerhin scheint das internationale Energieangebot (politische und wirtschaftliche Stabilität vorausgesetzt) recht gross zu sein, so dass die fehlenden Schranken kaum zu wesentlich falschen Ergebnissen führen sollten. Ein weiterer Mangel liegt darin, dass die Energiepreise für eine ganze Periode konstant angenommen werden.

Jahr	Elektrizität (Import) [TJ]	Elektrizität (Export) [TJ]
1982	40000	75000
1984	40000	75000
1986	40000	75000
1988	40000	75000
1990	40000	75000
1992	40000	75000
1994	40000	75000
1996	40000	75000
1998	40000	75000
2000	40000	75000
2002	40000	75000

Tabelle 15. Jährliche Importschranken für Endenergien

3.2.3 Preise für Endenergie

Die Bestimmung der Energiepreise wirkt sich über die Energiekosten auf die Zusammensetzung der Endenergie aus. Auch hier bietet sich wieder die Möglichkeit, mit verschiedenen Preissenarien die möglichen Auswirkungen zu untersuchen, also ein typisches Einsatzgebiet für MESSAGE. Für die Vergangenheitswerte existiert eine eigene Zusatzstudie zur GEK mit dem Titel: "Die Kosten der Energieversorgung in der Schweiz"[30], die aber nur Berechnungen bis 1975 aufweist. Die OECD gibt vierteljährlich eine Statistik mit den Energiepreisen in ihren Mitgliedsländern heraus[33, p.70f und 168f], die aber in Origineleinheiten und nicht nach unseren Wünschen geführt ist. So haben wir uns entschlossen, die Ausgaben für die Endenergie gemäss Gesamtenergiestatistik durch den Verbrauch zu dividieren, um durchschnittliche Preise zu ermitteln[7, p.44 und Anhang 1]. Auf diese

Weise haben wir die Durchschnittspreise für die Jahre 1978 bis 1982 ermittelt und uns nach deren Durchsicht entschlossen, die Durchschnittspreise des Jahres 1982 als Basis zu übernehmen. Allerdings sind einige Mängel enthalten:

1. Die Preisangaben für Industrieabfälle fehlen in der Gesamtenergiestatistik vollständig. Wir haben 80% des Preises für Fernwärme **angenommen**.
2. Eine Unterscheidung der Import- und Exportpreise für die flüssigen Brenn- und Treibstoffe sowie für das Holz ist **nicht** möglich. Deshalb rechnen wir mit den **gleichen** Preisen. Im Bedarfsfall müssten die Ölgesellschaften und Holzagenturen Angaben zu ihren Mischrechnungen machen.
Dieser Mangel verzerrt die Zusammensetzung der Endenergie, da bei gleichem Preis hin und wieder zufällig zuerst das Inlandangebot total aufgebraucht oder nur der Import berücksichtigt wird. Deshalb ist vor allem das Total von Inlandproduktion und Import zu beachten (vgl. 4.3.7).
3. Für den Stromimport und -export haben wir aus der Elektrizitätsstatistik mit der Aussenhandels- und der Ein / Ausfuhrtablelle durchschnittliche Preise bestimmt[5, p.29 und p.41].
4. In einer Zusatzstudie zur GEK[14, p.24] wurde auf der Preisbasis 1974 ein Preis für Fernwärme ab Zentrale von 31'638 [Fr./TJ] errechnet. Um realistische Vergleiche zu ermöglichen, haben wir aber den von uns berechneten Durchschnittspreis zur Weiterarbeit gewählt.

Für 1982 rechnen wir somit mit folgenden Energiepreisen:

Endenergie- art	Durchschnittspreis [Fr./TJ]
flüssige Brennstoffe (Inland)	15330
flüssige Brennstoffe (Import)	15330
flüssige Treibstoffe (Inland)	34538
flüssige Treibstoffe (Import)	34538
Elektrizität (Inland)	34584
Elektrizität (Import)	15208
Elektrizität (Export)	15800
Gas	16631
Kohle und Koks	11945
Holz (Inland)	7005
Holz (Import)	7005
Fernwärme	20878
Industrieabfälle	16702

Tabelle 16. Durchschnittspreise für Endenergie 1982

* Wir sind uns bewusst, dass diese Annahme nicht der Wirklichkeit entspricht. Wir sind aber nicht imstande, die zeitweise sehr kurzfristig ändernden Marktverhältnisse wirklichkeitsgetreu zu modellieren.

Für die kommenden Perioden rechnen wir, wie die "Strichvariante" im GEK-Schlussbericht[10, p.145], mit einer jährlichen Energiepreisssteigerung von 1%.

3.2.4 Technologien

Die Technologiedaten boten bei ihrer Bestimmung vielleicht die grössten Schwierigkeiten. Die grosse Anzahl der Werte, die in genau vorgegebener Form festzulegen waren, boten unzählige Möglichkeiten, kleine Ungenauigkeiten miteinzubeziehen. In den folgenden Unterkapiteln sind einige Überlegungen zu den Technologien (vgl. 3.1.3 und Tabellen 4, 5 und 6) aufgeführt, während in den Tabellen 17, 18, 19 und 20 die Daten zusammengefasst sind. Für den ganzen Bereich "Wärme" diente eine spezielle Studie über den Wirtschaftlichkeitsvergleich von Heizsystemen, in der Folge kurz als BEW-Studie bezeichnet, als Grundlage[32]. Nach Auskunft des Bundesamtes für Energiewirtschaft ist diese Studie die einzige verfügbare Untersuchung dieses Inhaltes. Da die Preise auf der Basis 1980 berechnet wurden, haben wir sie mit Hilfe des Baukostenindex von Zürich [Zürich als unsere Wahl] (Teilindex Heizung und Lüftung) vom Stand Oktober 1980 auf den Stand von Oktober 1982[8, p.193] bereinigt. Für die Technologien Nr. 1 bis Nr. 32 (vgl. Tabelle 4 und 5) gilt.

Wirkungsgrad: Den Wirkungsgrad η haben wir der Gesamtenergiestatistik[6, p.34] entnommen.

Anfangskapazität: Unter dem Begriff Anfangskapazität verstehen wir die Anlagen, die zu Beginn des Jahres 1982 zur Energieumwandlung mit den entsprechenden Technologien zur Verfügung standen.

Die Werte berechneten wir wie folgt: Die Umwandlungsaktivität des Jahres 1982[6, p.34] diente als Grundlage. Dazu addierten wir 10% als **angenommene**, nicht genutzte und somit freie Kapazität. Diese Zwischenwerte sind mit Hilfe des Betriebsfaktors (Betriebsstunden / Jahr [pf]) auf ein Jahr umzurechnen.

Für LIQAHEAT gilt zum Beispiel:

143'960 TJ	Umwandlung 1982
14'396 TJ	'ungenutzte Reserve'
158'356 TJ	mögliche Umwandlung 1982 (mit pf: 0.3)
$\approx 527'900 \text{ TJ/yr}$	Anfangskapazität

Die vor Planungsbeginn erstellten Anlagen (Anfangskapazität) fallen entsprechend der Lebensdauer ungefähr linear, nach einer speziellen Berechnungsmethode in MESSAGE (vgl. 2.1.5), aus. Die während des Planungszeitraumes erstellten Anlagen stehen genau während der Lebensdauer (vgl. Tabellen 17 und 19) zur Verfügung.

Laufende Kosten: Die laufenden Kosten umfassen die Betriebs- und die Unterhaltskosten.

Kapitalkosten: Die Kapitalkosten berechnen sich auf Grund der Investitionskosten, der Zinsrate und des Endwertfaktors (vgl. 2.2.1). In diesem Kapitel bestimmen wir nur die Kosten für neue Investitionen.

Alle anderen, nachfolgend nicht kommentierten, Daten entsprechen unseren **eigenen Annahmen!**

3.2.4.1 LIQAHEAT

- Lebensdauer: In einer Studie des VSO (Verband Schweizerischer Öl- und Gasbrennerfabrikanten)[23] wird mit einer Amortisationszeit für den Kessel von 1.2 bis 5 Jahren gerechnet. Die gesamte Ölfeuerungsanlage muss aber eine wesentlich höhere Lebenserwartung aufweisen. Weitere Untersuchungen sind uns allerdings nicht bekannt.
- Laufende Kosten: Die BEW-Studie[32, p.6] rechnet mit Unterhalts- und Betriebskosten von 2.5% der Gesamtanlagenkosten pro Jahr. Dieser Wert liegt allerdings nach unseren Berechnungen zu tief, denn bereits das Serviceabonnement des VSO für Brenner beträgt für Anlagen bis 140 kW Fr. 260.- pro Jahr[47]. Wenn wir pro Wohnung mit einer Wärmenachfrage von 68 GJ[21, p.9] rechnen und pro Wohnung einen Betriebskostenanteil von Fr. 130.- (unabhängig vom Serviceabonnement) annehmen, ergibt dies mittlere Betriebskosten von 1.912 [10^3 Fr./TJ].
- Kapitalkosten: Aus der BEW-Studie[32, p.3, 2-1 und 3-1] haben wir mit Absicht die Version *schlecht isolierte Häuser* gewählt, um die Technologie ISOAHEAT (Hausisolation) testen zu können. In ein Einfamilienhaus mit einer Heizung von 24 kW Leistung sind Investitionen für die Ölfeuerung von Fr. 29'210.- notwendig und in ein Mehrfamilienhaus (acht Wohnungen) mit einer Heizung von 77.3 kW Leistung solche von Fr. 69'150.-. Wenn wir für die Schweiz mit einem Verhältnis von 1/3 zu 2/3 Wohnanteil in Einfamilienhäusern bzw. in Mehrfamilienhäusern rechnen, erhalten wir einen durchschnittlichen Investitionspreis von 1'002.- [Fr./kW] oder von 31.776 [10^3 Fr.yr/TJ]. Diese Preisgrösse ist auf Stand 1980 gerechnet und ist mittels Baukostenindex zu bereinigen. Der definitive Wert beträgt 34.917 [10^3 Fr.yr/TJ]. Dieser Wert ist als gemittelte Grösse zu betrachten und darf nicht unesehen für andere Zwecke verwendet werden (wie die folgenden Daten übrigens auch).
- Betriebsfaktor: In einer Untersuchung auf dem Platz Zürich wurde ein Betriebsfaktor der städtischen Ölfeuerungsanlagen von 0.171[16, p.136] angenommen, während in einer anderen Studie der Heizkessel während 5500h (entspricht 0.628) auf Betriebstemperatur angenommen wurde. Allerdings ist unklar, welcher Kesseltyp dieser Annahme zugrunde liegt. Als Mittellösung rechnen wir mit einem Betriebsfaktor von 0.3.

3.2.4.2 ELEAHEAT

Leider führt die BEW-Studie keine Kennzahlen der Elektroheizung für *schlecht isolierte Häuser*. Deshalb sind die Berechnungen an *gut isolierten Häusern* durchgeführt.

* Stand Oktober 1980: 112.3; Stand Oktober 1982: 123.4)[8, p.193]

Laufende Kosten:

Die BEW-Studie berechnet für die Elektroheizung 1.5% der Gesamtanlagenkosten pro Jahr als Unterhalts- und Betriebskosten[32, p.6, 2-2 und 3-2]. Für Einfamilienhäuser ergeben sich somit Kosten von Fr. 60.- pro Jahr (1.5% von Fr. 4'001.-) und für Mehrfamilienhäuser à acht Wohnungen Fr. 184.- (1.5% von Fr. 12'255.-). Wenn wir wiederum mit einem Wohnanteil von 1/3 zu 2/3 unter Einfamilien- und Mehrfamilienhäusern rechnen und zudem nach Kirchgässner eine Wärmenachfrage pro Wohnung von 68 GJ[21, p.9] annehmen, lassen sich laufende Kosten von 0.519 [10^3 Fr./TJ] auf Preisbasis 1980 berechnen. Die bereinigten Kosten auf Basis 1982 (Berechnung wie bei LIQAHEAT) belaufen sich auf 0.571 [10^3 Fr./TJ]

Kapitalkosten:

In ein Einfamilienhaus mit einer Heizung von 10.6 kW Leistung sind Investitionen von Fr. 29'760.- notwendig und in ein Mehrfamilienhaus solche von Fr. 70'850.- für 40.5 kW Heizleistung. Wenn wir dieselbe Hausverteilung zugrunde legen, erhalten wir durchschnittliche Investitionskosten von 2'102.- [Fr./kW] oder von 66.657 [10^3 Fr.yr/TJ] und bereinigt auf Preisbasis 1982 von 73.246 [10^3 Fr.yr/TJ].

3.2.4.3 GASAHEAT

Die Berechnung ist analog durchgeführt wie bei ELEAHEAT, allerdings wiederum für *schlecht isolierte Häuser*. Die Daten sind der BEW-Studie entnommen[32, p.6, 2-1 und 3-1].

Laufende Kosten:

für Einfamilienhaus:	2.5% von Fr. 5'312.- (Gewichtung 1/3)
für Mehrfamilienhaus	2.5% von Fr. 13'865.- (Gewichtung 2/3)
(8 Wohnungen)	
pro Wohnung:	73.0 [Fr./68GJ] (Stand 1980)
Schlusswert:	1.177 [10^3 Fr./TJ] (Stand 1982)

Kapitalkosten:

Investition für 24.0 kW:	Fr. 23'110.- (Gewichtung EFH: 1/3)
Investition für 77.3 kW:	Fr. 52'100.- (Gewichtung MFH: 2/3)
Investition für 1.0 kW:	Fr. 770.- (Stand 1980)
Schlusswert:	26.841 [10^3 Fr.yr/TJ] (Stand 1982)

3.2.4.4 COAAHEAT

Diese Technologie ist in gleicher Weise bestimmt worden wie GASAHEAT. Ebenso sind die Daten bei der gleichen Referenz auf den gleichen Seiten aufgeführt.

Laufende Kosten:

für Einfamilienhaus:	2.5% von Fr. 5'876.- (Gewichtung 1/3)
für Mehrfamilienhaus	2.5% von Fr. 17'564.- (Gewichtung 2/3)
(8 Wohnungen)	
pro Wohnung:	86.0 [Fr./68GJ] (Stand 1980)
Schlusswert:	1.383 [10^3 Fr./TJ] (Stand 1982)

Kapitalkosten:

Investition für 24.0 kW:	Fr. 24'660.- (Gewichtung EFH: 1/3)
Investition für 77.3 kW:	Fr. 57'950.- (Gewichtung MFH: 2/3)
Investition für 1.0 kW:	Fr. 842.- (Stand 1980)
Schlusswert:	29.349 [10^3 Fr.yr/TJ] (Stand 1982)

3.2.4.5 WOOAHEAT

Diese Technologie ist in gleicher Weise bestimmt worden wie GASHEAT, und die Daten sind bei der gleichen Referenz auf den gleichen Seiten zu finden.

Laufende Kosten:	für Einfamilienhaus:	2.5% von Fr. 6'917.- (Gewichtung 1/3)
	für Mehrfamilienhaus: (8 Wohnungen)	2.5% von Fr. 20'810.- (Gewichtung 2/3)
	pro Wohnung:	101.0 [Fr./68GJ] (Preisniveau: 1980)
	Schlusswert:	1.632 [10^3 Fr.yr/TJ] (Preisniveau: 1982)

Kapitalkosten: Die Investitionskosten für die Holzfeuerung sind gemäss BEW-Studie[32, p.2-1 und 3-1] genau gleich hoch wie für die Kohlefeuerung.

3.2.4.6 DISAHEAT

In der BEW-Studie sind noch keine Angaben über Fernwärmeheizsysteme enthalten. Deshalb mussten wir uns mit groben Schätzungen und Annahmen behelfen, weil auch die Zusatzstudie zur GEK[14, p.24] mit der Problemstellung der Fernheizung keine uns passenden Angaben bezüglich individueller Heizkosten machen konnte.

Für die *laufenden Kosten* rechnen wir bei einer Wärmenachfrage von 68 GJ mit einem Betrag von Fr. 20.- (nur Entlüften der Heizkörper, bzw. der Leitungen) pro Jahr und Wohnung.

Für die *Investitionskosten* rechnen wir mit ca. 2/3 der Investitionskosten für Ölf Feuerungsanlagen, weil die Wärmezuleitung oft nur zu einem geringen Teil dem Abnehmer direkt verrechnet wird.

In der erwähnten GEK-Zusatzstudie ist eine genaue Angabe für den Betriebsfaktor enthalten, nämlich 0.37[14, p.2].

3.2.4.7 ELEBMEWO

Während für die Heizsysteme noch eine Anzahl wissenschaftlicher Untersuchungen, mit allerdings verschiedenen Zielrichtungen, existieren, aus denen sich gewisse Überlegungen ableiten lassen, sind praktisch keine Angaben für die restlichen Anwendungstechnologien zu finden, mit Ausnahme der Wirkungsgrade in der Gesamtenergiestatistik. Für die Technologie ELEBMEWO spielt dies insofern keine grosse Rolle, als keine andere Technologie mechanische Arbeit im Haushaltsektor anbietet und der Endenergiebedarf hier nur vom Wirkungsgrad abhängt.

Laufende Kosten: Pro Wohnung rechnen wir mit *laufenden Kosten* von Fr. 50.- pro Jahr (Sicherungen, neue Steckdosen etc.). Im Durchschnitt wird jährlich pro Wohnung 2.15 GJ mechanische Arbeit nachgefragt (5180 TJ[6, p.34] auf 2.413 Mio Wohnungen[21, p.9]). Somit können wir mit *laufenden Kosten* von 23.292 [10^3 Fr./TJ] rechnen.

Kapitalkosten: Nach einem Augenschein in einigen Wohnungen rechnen wir mit Investitionskosten von Fr. 4'000.- pro Wohnung. Bei einer **angenommen** jährlichen Nutzungsdauer von 10% und der durchschnittlichen Nachfrage nach mechanischer Arbeit pro Wohnung ist die erwähnte Investition für eine Leistung von 21.47 [GJ/yr] getätigt worden, was für unsere Technologie spezifische Investitionskosten von 186.332 [10^3 Fr.yr/TJ] ausmacht.

3.2.4.8 ELECLIGH

Alle Technologien, die Licht erzeugen, sind am Endenergieverbrauch mit geringem Anteil vertreten und zudem "konkurrenzlos". Trotzdem versuchen wir vernünftige Schätzungen zu machen.

Laufende Kosten: Wir **nehmen an**, dass pro Wohnung jährlich Fr. 30.- für den Unterhalt und den Betrieb der Lichtanlagen (z.B. Glühlampen) ausgegeben wird. Ausserdem liegt der durchschnittliche Stromverbrauch pro Wohnung für Licht bei 1.79 GJ (4320 TJ für 2.413 Mio Wohnungen)[6, p.34] [21, p.9]. Somit lassen sich jährliche *laufende Kosten* von 16.757 [10^3 Fr./TJ] errechnen.

Kapitalkosten: Die Investitionskosten für Lichtanlagen haben wir auf Fr. 6000.- pro Wohnung geschätzt. Bei einer **angenommenen** Nutzungsdauer von 30% des Jahres und der voranstehenden durchschnittlichen Nachfrage nach Licht pro Haushalt, ist die erwähnte Investition für eine Leistung von 5.97 [GJ/yr] getätigt worden. Unsere Investitionskosten betragen somit 1'005.417 [10^3 Fr.yr/TJ].

3.2.4.9 LIQDHEAT

Bei allen folgenden Anwendungstechnologien muss zum Teil auf die Daten für den Haushaltsektor zurückgegriffen werden, weil spezifische Daten fehlen. So werden auch bei einer Anwendung mit MARKAL[24, Anhang C p.6] für die Untersuchung der Heizsysteme die Mehrfamilienhäuser und die Gewerbehäuser in einer einzigen Kategorie geführt.

Laufende Kosten: Für die Unterhalts- und Betriebskosten rechnen wir mit den gleichen Werten wie bei LIQAHEAT.

Kapitalkosten: Die Investitionskosten für Heizungen in Bauten des Gewerbes, der Landwirtschaft und Dienstleistungen erachten wir als gleich hoch wie diejenigen für Heizungen in Mehrfamilienhäusern. Aus der BEW-Studie[32, p.3 und 3-2] wählen wir die Variante *gut isoliertes Achtfamilienhaus*. Die Investitionskosten betragen somit für eine Leistung von 40.5 kW Fr. 48'400.- oder 37.895 [10^3 Fr.yr/TJ] und angepasst an das Preisniveau 1982 41.641 [10^3 Fr.yr/TJ].

3.2.4.10 ELEDHEAT

Laufende Kosten: Für die Unterhalts- und Betriebskosten rechnen wir mit den gleichen Werten wie bei ELEAHEAT.

Kapitalkosten: Die Berechnung wurde analog zu LIQDHEAT durchgeführt:
Fr. 70'850.- für 40.5 kW
55.473 [10^3 Fr.yr/TJ] (Stand: 1980)
60.956 [10^3 Fr.yr/TJ] (Stand: 1982)

3.2.4.11 GASDHEAT

Laufende Kosten: Für die Unterhalts- und Betriebskosten rechnen wir mit den gleichen Werten wie bei GASAHEAT.

Kapitalkosten: Die Berechnung wurde analog zu LIQDHEAT durchgeführt:
Fr. 36'800.- für 40.5 kW
28.813 [10^3 Fr.yr/TJ] (Stand: 1980)
31.661 [10^3 Fr.yr/TJ] (Stand: 1982)

3.2.4.12 COADHEAT

Laufende Kosten: Für die Unterhalts- und Betriebskosten rechnen wir mit den gleichen Werten wie bei COAAHEAT.

Kapitalkosten: Die Berechnung wurde analog zu LIQDHEAT durchgeführt:
Fr. 41'600.- für 40.5 kW
32.754 [10^3 Fr.yr/TJ] (Stand: 1980)
35.991 [10^3 Fr.yr/TJ] (Stand: 1982)

3.2.4.13 WOODHEAT

Laufende Kosten: Für die Unterhalts- und Betriebskosten rechnen wir mit den gleichen Werten wie bei WOOAHEAT.

Kapitalkosten: Die Kapitalkosten sind äquivalent zu COADHEAT.

3.2.4.14 DISDHEAT

Laufende Kosten: Für die Unterhalts- und Betriebskosten rechnen wir mit den gleichen Werten wie bei DISAHEAT.

Kapitalkosten: Weil die Investitionskosten für Fernwärmeheizsysteme in der BEW-Studie fehlen, haben wir die Investitionskosten von DISAHEAT mit dem gleichen Faktor multipliziert, der die Verteuerung von LIQAHEAT zu LIQDHEAT ausmacht.

3.2.4.15 FUEEMEWO

Laufende Kosten: Wir schätzen, dass die Unterhalts- und Betriebskosten der Analgen, die mit flüssigen Treibstoffen betrieben werden, ungefähr gleich hoch sind, wie die der Elektroanlagen (vgl. 3.2.3.7).

Kapitalkosten: Wir schätzen, dass die Kapitalkosten halb so hoch sein werden, wie die gleichen Kosten für Elektroanlagen (vgl. 3.2.3.7).

3.2.4.16 ELEEMEWO

Laufende Kosten: Wir **nehmen an**, dass die Unterhalts- und Betriebskosten anderthalbfach so hoch sind wie bei den Elektroanlagen im Haushalt, weil sie einer

stärkeren Belastung ausgesetzt sind.

Kapitalkosten:

Wir schätzen, dass die Investitionskosten für Elektromaschinen für Gewerbe-, Landwirtschafts- und Dienstleistungsbetriebe doppelt so hoch sind wie für diejenigen im Haushalt, weil sie komplexer sind und mindestens teilweise in geringeren Massenanfertigungen hergestellt werden können.

3.2.4.17 ELEFLIGH

Laufende Kosten:

Wegen der erhöhten Belastung rechnen wir mit den anderthalbfachen *laufenden Kosten* gegenüber ELECLIGH.

Kapitalkosten:

Wegen der grösseren Anlagen rechnen wir bei den *Investitionskosten* hingegen nur mit 75% der Kosten für Lichtapparate im Haushaltsektor.

3.2.4.18 LIQGHEAT

Laufende Kosten:

Gegenüber den Ölfeuerungsanlagen in Gewerbe Landwirtschaft und Dienstleistung rechnen wir mit reduzierten (75%) Unterhalts- und Betriebskosten, weil die Anlagen professioneller gewartet werden können und i.A. besser überwacht werden.

Kapitalkosten:

Auch die Investitionskosten sinken bei leistungstärkeren Heizsystemen, weshalb wir bei diesen Kosten die gleiche Reduktion vornehmen (75%) wie bei den *laufenden Kosten*. Dieser Trend ist auch in etwa einer VDI-Untersuchung[37, p.27] zu entnehmen.

3.2.4.19 ELEGHEAT

Die Ausführungen von LIQGHEAT haben auch hier Gültigkeit, weshalb wir mit den gleichen Kostenreduktionen gegenüber den vergleichbaren Anlagen in Gewerbe - Landwirtschaft und Dienstleistung rechnen.

3.2.4.20 GASGHEAT

Die Ausführungen von LIQGHEAT haben auch hier Gültigkeit, weshalb wir mit den gleichen Kostenreduktionen gegenüber den vergleichbaren Anlagen in Gewerbe - Landwirtschaft und Dienstleistung rechnen.

3.2.4.21 COAGHEAT

Die Ausführungen von LIQGHEAT haben auch hier Gültigkeit, weshalb wir mit den gleichen Kostenreduktionen gegenüber den vergleichbaren Anlagen in Gewerbe - Landwirtschaft und Dienstleistung rechnen.

3.2.4.22 WOOGHEAT

Die Ausführungen von LIQGHEAT haben auch hier Gültigkeit, weshalb wir mit den gleichen Kostenreduktionen gegenüber den vergleichbaren Anlagen in Gewerbe - Landwirtschaft und Dienstleistung rechnen.

3.2.4.23 DISGHEAT

Weil für Fernwärme die eigentliche Umwandlung fehlt, rechnen wir mit den gleichen Daten wie für die Heizung mittels Fernwärme in Gewerbe - Landwirtschaft und Dienstleistung.

3.2.4.24 INDGHEAT

Für die Wärmeerzeugung aus Industrieabfällen fehlen uns zur Zeit jegliche Angaben. Selbst die Hersteller von solchen Anlagen sind zur Zeit nicht imstande, näherungsweise Angaben über die durchschnittlichen Kosten der individuellen Anwendung zu machen. Deshalb rechnen wir mit den gleichen Unterhalts- und Betriebskosten und den gleichen Investitionskosten wie für die Ölfeuerungsanlagen in der Industrie.

3.2.4.25 ELEHMEWO

Für die *laufenden Kosten* rechnen wir mit den gleichen Daten wie für die Elektroapparate in der Verbrauchergruppe Haushalt.

Für die *Kapitalkosten* rechnen wir hingegen mit einer Erhöhung von 50% gegenüber den Haushaltapparaten.

3.2.4.26 ELEICHIM und COAICHIM

In den Anwendungstechnologien für die "Chemie" waren wir **vollständig auf Annahmen** angewiesen, mit Ausnahme der Wirkungsgrade. Der Endenergieverbrauch für die "Chemie" ist allerdings unbedeutend.

3.2.4.27 ELEJLIGH

Für die Lichterzeugung in der Industrie haben wir die Kostendaten von der Lichtenwendung in Gewerbe - Landwirtschaft und Dienstleistung übernommen. Einzig den Betriebsfaktor haben wegen der Schichtarbeit erhöht.

3.2.4.28 ELEKHEAT

Die Heizung im Sektor Verkehr entbehrt der Brisanz der anderen Verbrauchergruppen, da gemäss Gesamtenergiestatistik einzig mit Elektrizität geheizt wird.

Laufende Kosten: Gegenüber dem Haushaltssektor nehmen wir keine Änderungen in den Unterhalts- und Betriebskosten vor.

Kapitalkosten: Weil in den (öffentlichen) Verkehrsmittel die Elektrizität schnell verfügbar ist, rechnen wir mit halbierten Investitionskosten gegenüber ELEAHEAT.

3.2.4.29 FUELMEWO und ELELMEWO

Die Kostendaten für die Anwendungstechnologien der mechanischen Arbeit im Verkehr, also für die Fortbewegung der öffentlichen und privaten Verkehrsmittel, mussten wir so bestimmen, dass in der Gegenwart der Anteil von Strom und flüssigen Treibstoffen in etwa der Wirklichkeit entspricht.

3.2.4.30 ELEMLIGH

Für die unbedeutende Lichtenwendung im Verkehr haben wir die Daten aus dem Haushaltsektor übernommen und einzig den Betriebsfaktor leicht erhöht.

In den nachfolgenden Tabellen sind alle bisher kommentierten aus anderen Quellen übernommenen, geschätzten oder angenommen Daten für die Technologien 1 bis 32 zusammengefasst. Dabei sind in der Tabelle 17 die Lebensdauer der Anlage, der Wirkungsgrad, der Betriebsfaktor und die Anfangskapazität wiedergegeben, während in Tabelle 18 die Kostendaten zu finden sind.

Nr	Name	Lebensdauer der Anlage [Perioden]	Wirkungs- grad	Betriebs- faktor 100%	Anfangs- kapazität [TJ/yr]
1	LIQAHEAT	12	0.69	0.3	527900
2	ELEAHEAT	12	0.75	0.5	68800
3	GASAHEAT	12	0.67	0.3	53600
4	COAAHEAT	12	0.55	0.3	11700
5	WOOAHEAT	8	0.50	0.4	21500
6	DISAHEAT	12	0.95	0.37	7100
7	ELEBMEWO	4	0.79	0.1	57000
8	ELECLIGH	10	0.10	0.3	15800
9	LIQDHEAT	12	0.70	0.5	169300
10	ELEDHEAT	12	0.75	0.5	74400
11	GASDHEAT	12	0.67	0.5	13800
12	COADHEAT	12	0.55	0.5	100
13	WOODHEAT	8	0.50	0.5	2400
14	DISDHEAT	12	0.95	0.5	9800
15	FUEEMEWO	6	0.30	0.3	15900
16	ELEEMEWO	4	0.79	0.3	25700
17	ELEFLIGH	10	0.10	0.4	16000
18	LIQGHEAT	12	0.72	0.5	98500
19	ELEGHEAT	12	0.77	0.5	11700
20	GASGHEAT	12	0.67	0.5	41600
21	COAGHEAT	12	0.65	0.5	36300
22	WOOGHEAT	8	0.50	0.5	4600
23	DISGHEAT	12	0.95	0.5	3500
24	INDGHEAT	15	0.81	0.5	10700
25	ELEHMEWO	5	0.84	0.5	62400
26	ELEICHIM	8	0.90	0.7	12700
27	COAICHIM	8	0.55	0.7	2700
28	ELEJLIGH	10	0.10	0.5	2000
29	ELEKHEAT	10	1.00	0.4	800
30	ELELMEWO	6	0.22	0.4	19500
31	FUELMEWO	5	0.70	0.4	493300
32	ELEMLIGH	10	0.10	0.4	400

Tabelle 17. Kennzahlen der Sammeltechnologien, Teil 1

Nr	Name	Laufende Kosten 1'000.-Fr./TJ	Kapital- kosten 1'000.Fr.yr/TJ
1	LIQAHEAT	1.912	34.917
2	ELEAHEAT	0.571	73.246
3	GASAHEAT	1.177	26.841
4	COAAHEAT	1.383	29.349
5	WOOAHEAT	1.632	29.349
6	DISAHEAT	0.294	21.699
7	ELEBMEWO	23.292	186.332
8	ELECLIGH	16.757	1005.417
9	LIQDHEAT	1.912	41.641
10	ELEDHEAT	0.571	60.956
11	GASDHEAT	1.177	31.661
12	COADHEAT	1.383	35.991
13	WOODHEAT	1.632	35.991
14	DISDHEAT	0.294	25.878
15	FUEEMEWO	34.938	186.332
16	ELEEMEWO	34.938	372.664
17	ELEFLIGH	23.136	754.063
18	LIQGHEAT	1.434	31.641
19	ELEGHEAT	0.428	45.717
20	GASGHEAT	0.883	23.746
21	COAGHEAT	1.037	26.993
22	WOOGHEAT	1.224	26.993
23	DISGHEAT	0.294	25.878
24	INDGHEAT	2.868	31.641
25	ELEHMEWO	23.292	279.498
26	ELEICHIM	15.000	200.000
27	COAICHIM	20.000	150.000
28	ELEJLIGH	23.136	734.063
29	ELEKHEAT	0.571	36.623
30	ELELMEWO	34.938	558.996
31	FUELMEWO	34.938	186.332
32	ELEMLIGH	16.757	1005.417

Tabelle 18. Kennzahlen der Sammeltechnologien, Teil 2

Neben den Sammeltechnologien aus der Gesamtenergiestatistik haben wir noch die zusätzlichen, von uns als speziell interessant empfundenen, Technologien zu beschreiben.

3.2.4.31 ISOAHEAT

Lebensdauer: Eine Hausisolation dürfte minimal 20 Jahre[32, p.4-4] nutzbar sein.

Wirkungsgrad: Für die Isolation **nehmen** wir einen Wirkungsgrad von 0.80 **an**. Dies bedeutet, dass die vorhandene oder zu erstellende Kapazität, multipliziert mit dem Betriebsfaktor [0.4], nur zu 80% wirksam ist und

somit Wärme einsparen kann.

Laufende Kosten:	Wir nehmen an , dass die Unterhaltskosten (von Betriebskosten kann man kaum sprechen) pro Wohnung und Jahr Fr. 200.- betragen. Nach der üblichen Wärmenachfrage von 68 GJ pro Wohnung[21, p.9] ergibt dies: 2.941 [10 ³ Fr./TJ].		
Kapitalkosten:	In der BEW-Studie[32, p.4-7] sind Spannweiten für die Isolationskosten von Ein- und Mehrfamilienhäusern angegeben. Wir rechnen mit den Mittelwerten und erhalten:		
	Einfamilienhaus:	Fr. 62'500.- / 24 kW	(Gewichtung 1/3)
	Mehrfamilienhaus:	Fr. 180'000.- / 77.3 kW	(Gewichtung 2/3)
	Durchschnittswert:	76.752 [10 ³ Fr.yr/TJ]	Stand 1980
	Schlusswert:	84.338 [10 ³ Fr.yt/TJ]	Stand 1982
Energiekosten:	Gemäss unserer Annahme fallen keine Energiekosten an, weil keine Endenergie verbraucht wird. Für ISOAHEAT wird <i>f_{conv}</i> auf 0.00 gesetzt.		
Betriebsfaktor:	Als jährliche Nutzungsdauer rechnen wir mit 0.4, einem mittleren Wert der Nutzungsdauern der übrigen Technologien, die Wärme im Haushalt erzeugen.		
Anfangskapazität:	Als installierte Isolation zu Beginn 1982 nehmen wir den bescheidenen Wert von 10'000 [TJ/yr] an .		

3.2.4.32 PUMAHEAT

Lebensdauer:	Für die Wärmepumpen rechnen wir mit der gleichen Nutzungsdauer der Anlagen wie für die Elektroheizungen mit Zentralspeicher.		
Wirkungsgrad:	Weil nur der Strom zum Antrieb der Wärmepumpen als kostenträchtiger Input erscheint, ist der Wirkungsgrad > 1. Aus einer EIR - Studie[43, p.20] konnten wir den Wert 1.93 entnehmen.		
Laufende Kosten:	Mit Hilfe der BEW-Studie[32, p.2-2 und 3-2] konnten wir folgende Berechnung durchführen:		
	Einfamilienhaus:	1.5% von Fr. 5'775.-	(Gewichtung 1/3)
	Mehrfamilienhaus:	1.5 % von Fr. 11'832.-	(Gewichtung 2/3)
	(8 Wohnungen)		
	ergibt:	43.665 [10 ³ Fr./68GJ]	(1 Wohnung)
	auf Stand 1980:	0.642 [10 ³ Fr./TJ]	
	Schlusswert:	0.706 [10 ³ Fr./TJ]	
Kapitalkosten:	Wir rechneten wie bei den übrigen Heizsystemen:		
	Einfamilienhaus:	Fr. 42'840.- / 10.6 kW	
	Mehrfamilienhaus:	≈ Fr.100'000.- / 40.5 kW	
	(für 'monovalent Luft' fehlt die genaue Angabe)		
	mit Preisstand 1980:	95.448 [10 ³ Fr.yr/TJ]	
	Schlusswert (1982):	104.883 [10 ³ Fr.yr/TJ]	
Energiekosten:	Gemäss unserer Annahme betrachten wir die Luft als 'Gratisenergie'. Die Energiekosten umfassen somit nur die Stromkosten. Der Umwandlungskoeffizient <i>f_{conv}</i> ist für den Strom auf 1.00 gesetzt.		

Anfangskapazität:	Für die Anfangskapazität waren wir auf eine reine Annahme angewiesen.
Betriebsfaktor:	Die gleiche jährliche Nutzungsdauer wie Elektroheizungen mit Zentralspeicher scheint angebracht.

Für die folgenden Technologien sind uns keine Angaben über installierte Anlagen bekannt. Ihre Bedeutung ist auf alle Fälle gering, weshalb wir auch keine Kapazitäten vorgeben.

3.2.4.33 SUNAHEAT

Lebensdauer:	Es gibt Angaben für die Nutzungsdauer von Sonnenheizsystemen zwischen 18 und 25 Jahren[2, p.V 42 und V 43]. Wir rechnen mit 20 Jahren.
Wirkungsgrad:	Der Wirkungsgrad (Konversionsfaktor) ist nicht fest, sondern kann festgelegt werden. Wir rechnen wie im Beispiel einer Zusatzstudie zur GEK[2, p.V 46] mit 0.20. Dies bedeutet, dass 20% der "eingefangenen" Sonnenenergie in Wärme umgewandelt wird.
laufende Kosten:	Eine Studie der SOFAS (Sonnenenergie - Fachverband Schweiz) rechnet für Kleinanlagen mit Kosten von unter Fr. 100.-[42, p.5]. Wir rechnen mit Fr. 80.- pro Jahr und Wohnung und legen die übliche Wärmenachfrage[21, p.9] zugrunde (68 GJ) und erhalten <i>laufende Kosten</i> von 1.176 [10 ³ Fr./TJ].
Kapitalkosten:	Die BEW-Studie gibt nur Angaben über kombinierte Anlagen[32, p.2-2]. Deshalb ziehen wir vom Preis der kombinierten Anlage ungefähr den halben Preis für Ölfeuerungsanlagen ab und erhalten: Fr. 32'155.- für 10.6 kW oder 96.191 [10 ³ Fr.yr/TJ] (Stand 1980) 105.699 [10 ³ Fr.yr/TJ] (Stand 1982)
Energiekosten:	Gemäss unserer Annahme fallen keine Energiekosten an, weil keine Endenergie verbraucht wird. Für SUNAHEAT wird <i>f_{conv}</i> auf 0.00 gesetzt.
Betriebsfaktor:	Bei einer durchschnittlichen Sonnenscheindauer von 1800 Stunden/Jahr (Bern) ergibt dies eine jährliche Nutzungsdauer von 0.21.

3.2.4.34 TWODHEAT

Eine neuere, umfassende Studie des EIR über die Wärme - Kraft - Kopplung[11] bot die Grundlage für die Abschätzungen und Annahmen, die getroffen werden mussten. Weil bei der Wärme - Kraft - Kopplung sowohl Wärme als auch Elektrizität anfällt, also Nutzenergie und Endenergie, haben wir die Wärme als Output mit einem Wirkungsgrad η von 0.62 modelliert und die anfallende

* Wir verzichten somit auf zusätzliche Installationen wie etwa auf eine elektrische Umwälzpumpe.

Elektrizität als negativen Endenergieverbrauch ins Modell aufgenommen. Für die Umwandlungskoeffizienten gilt:

$$\begin{aligned} f_{conv}^{TWODHEAT, fl. Brennstoff} &= 1.00 \\ f_{conv}^{TWODHEAT, Elektrizität} &= -0.26 \\ \eta_{TWODHEAT} &= 0.62 \end{aligned}$$

Auf die Wiedergabe der weiteren Berechnungen wird hier verzichtet. Es ist schwierig, die Technologiedaten für die Wärme - Kraft - Kopplung als Ganzes zu verifizieren, da die statistischen Unterlagen fehlen.

3.2.4.35 SUNDHEAT

Wir rechnen mit den gleichen Daten wie bei SUNAHEAT. Einzig die Investitionskosten haben wir der grösseren Anlagen wegen um 25% reduziert.

3.2.4.36 TWOGHEAT

Wir rechnen mit den gleichen Daten wie bei TWODHEAT. Einzig den Betriebsfaktor haben wir geringfügig erhöht.

In den nachfolgenden Tabellen sind nun die Daten der *Zusatztechnologien* zusammengefasst:

Nr	Name	Lebensdauer der Anlage [Perioden]	Wirkungs- grad	Betriebs- faktor 100%	Anfangs- kapazität [TJ/yr]
33	ISOAHEAT	10	0.80	0.4	10000
34	PUMAHEAT	8	1.93	0.3	10000
35	SUNAHEAT	10	0.20	0.21	0
36	TWODHEAT	10	0.62	0.4	0
37	SUNDHEAT	10	0.20	0.21	0
37	TWOGHEAT	10	0.62	0.5	0

Tabelle 19. Kennzahlen der Zusatztechnologien, Teil 1

Nr	Name	Laufende Kosten 1'000.-Fr./TJ	Kapital- kosten 1'000.-Fr.yr/TJ
33	ISOAHEAT	2.941	84.338
34	PUMAHEAT	0.706	104.883
35	SUNAHEAT	1.176	105.699
36	TWODHEAT	1.331	54.471
37	SUNDHEAT	1.176	79.274
37	TWOGHEAT	1.331	54.471

Tabelle 20. Kennzahlen der Zusatztechnologien, Teil 2

3.2.5 Schranken

Wie in 2.1.8 und 2.1.6 ausgeführt lassen sich die Umwandlungsaktivitäten (X-Variablen) und Kapazitätserweiterungen (Y-Variablen) nach unten, oben oder beiderseits beschränken. Von dieser Möglichkeit machen wir bei einigen Umwandlungstechnologien Gebrauch.

Die Werte sind in Tabelle 21 und 22 angegeben, ohne einzeln kommentiert zu werden.

Für das Setzen von Schranken sprechen folgende Gründe:

- Eine gewisse regelmässige Auslastung der vorhandenen Kapazitäten muss angestrebt werden, auch wenn eine Polarisierung auf einzelne, speziell kostengünstige Technologien rein rechnerisch begründbar ist. Der Mensch handelt nicht unbedingt immer rational.
- Für Wärme ab Zentrale (Fernwärme) sind die Zuleitungen grösstenteils erst noch zu erstellen.
- Die Wirtschaft ist nicht immer imstande, jede beliebige Menge an neuen Technologieanlagen anzubieten.
- Für gewisse Heizsysteme sind staatliche Bewilligungen erforderlich (etwa für Grundwassernutzung für Wärmepumpen, Installation neuer elektrischer Zentralspeicherheizungen).

In den nachfolgenden Tabellen sind die Werte für 1982 angegeben. Dabei bedeutet:

- k konstante Grenze für alle Perioden
- x% konstante jährliche Zuwachsrate für alle Perioden
- + XXX von uns gesetzte runde Werte mit konstantem Zuwachs pro Periode

In der folgenden sind nun die Schranken auf einen Blick zusammengefasst. Sie entstammen vollumfänglich **eigenen Annahmen**. Alle Grenzen sind als **obere Grenzen** gesetzt.

Nr	Name	X-Var.	Bemerkung	Y-Var.	Bemerkung
1	LIQAHEAT	230000	k	50000	k
2	ELEAHEAT	27530	5%	5700	k
3	GASAHEAT	16080	5%	4580	k
4	COAAHEAT			2000	k
5	WOOAHEAT			5000	k
6	DISAHEAT	2400	+ 300	5000	k
7	ELEBMEWO	70000			
8	ELECLIGH				
9	LIQDHEAT			20000	k
10	ELEDHEAT	20000	5%	10000	k
11	GASDHEAT	10000	5%	5000	k
12	COADHEAT				
13	WOODHEAT			2000	k
14	DISDHEAT	5000	5%	1000	+ 1000
15	FUEEMEWO				
16	ELEEMEWO				
17	ELEFLIGH				
18	LIQGHEAT			10000	k
19	ELEGHEAT	6000	5%	2000	k
20	GASGHEAT	25000	5%	5000	k
21	COAGHEAT				
22	WOOGHEAT			2000	k
23	DISGHEAT	2000	5%	2000	k
24	INDGHEAT	5000	10%		
25	ELEHMEWO				
26	ELEICHIM				
27	COAICHIM				
28	ELEJLIGH				
29	ELEKHEAT				
30	ELELMEWO	8000.	5%	13000	k
31	FUELMEWO			100000	k
32	ELEMLIGH				

Tabelle 21. Obere Schranken der Sammeltechnologien

Nr	Name	X-Var.	Bemerkung	Y-Var.	Bemerkung
33	ISOAHEAT	30000	k	5000	k
34	PUMAHEAT			5000	k
35	SUNAHEAT				
36	TWODHEAT			3000	k
37	SUNDHEAT				
38	TWOGHEAT			2000	k

Tabelle 22. Obere Schranken der Zusatztechnologien

3.2.6 Diskontrate

Wir rechnen mit einem Zinsfuß von 6%/a.

Damit ist das Modell vollständig bestimmt und die Inputdaten aufbereitet.

4. Ergebnisse

4.1 Problemgrösse

Das vorgestellte Modell (vgl. Kap. 3) ergibt ein Linearprogramm mit folgender Problemgrösse:

- 1 Zielfunktion
zusätzlich werden berechnet:
 - Gesamtkapitalkosten
 - Gesamte laufende Kosten
 - Gesamte Energiekosten
 - 3 Zeitreihen mit den Periodenkosten
- 728 Restriktionen
- 979 Variablen
davon sind 385 Variablen mit oberen Schranken versehen

4.2 Vortest

Die Lösung der vorliegenden Problemformulierung war in einem Punkt äusserst unbefriedigend. Die Modellierung der Endenergie Elektrizität konnte unseren Ansprüchen nicht genügen. Zwar wurde die grösstmögliche Menge an Strom importiert, natürlich zu einem tiefen Preis, wie man bei einem Vergleich sehr schnell feststellen kann. Dagegen wurde aber gar kein Strom exportiert. Die Möglichkeit, Strom importieren und exportieren zu können ist aber aus den folgenden Gründen unerlässlich:

- | | |
|---------------------|---|
| Lastausgleich: | Einerseits ist die Stromnachfrage nicht gleichmässig über eine bestimmte Zeitdauer verteilt (Lastregionen) und andererseits lässt sich das Angebot (bzw. die Produktion) nur bedingt (nur Speicherkraftwerke) kurzfristig steuern. Dies führt zu Unter- und Überproduktionen. Zum sinnvollen Ausgleich von Angebot und Nachfrage wird auf dem internationalen Verbundsystem <i>freiwillig</i> Strom im- und exportiert. |
| Sicherheit: | In einem schlechten hydrologischen Jahr können die inländischen Wasservorräte zu früh aufgebraucht werden, was zur Nachfrage nach Importstrom in den Frühlingsmonaten führt. Um die inländische Versorgung in den kritischen Monaten aufrechtzuerhalten, muss zwingend Strom importiert werden können.
Ebenso zwingend ist der Stromimport zur Deckung der Lastspitzen, wenn die inländischen Produktionsmöglichkeiten ausgeschöpft sind (z.B. bei einem Ausfall von Anlagen). |
| Wirtschaftlichkeit: | Neben der Sicherheit der Stromversorgung stehen auch wirtschaftliche Aspekte im Vordergrund. Die grenzüberschreitenden Stromtransfers zum Ausgleich der Lastspitzen werden nach Möglichkeit ganz oder teilweise kompensiert. Dabei versuchen die nationalen Gesellschaften die lastabhängigen Tarife zur eigenen Gewinnmaximierung auszunutzen. |

Dass nun in unserem Modell kein Strom exportiert wird, ist insofern einleuchtend, als der inländische Strom gemäss Preistabelle (vgl. Tabelle 16) in der Entstehung teurer zu stehen kommt als der Exporterlös. Diese Situation war so unbefriedigend, dass wir uns entschlossen haben,

entgegen den statistischen Tatsachen den Exportstrom zum genau gleichen Preis wie den Inlandstrom zu modellieren. Bei dieser Modellanpassung zeigte es sich, dass beim Strom allein der Energiepreis ausschlaggebend ist. Bei einer Reduktion des Exportpreises unter den Inlandpreis fällt der Export weg, bei gleichem Preis ist die Entscheidung indifferent (wird von MPSX/370 entsprechend festgehalten), während bei höherem Preis die maximal erlaubte Menge (vgl. Tabelle 15) exportiert wird.

Im angepassten Modell bleiben aber alle Möglichkeiten des internationalen Elektrizitätstransfers offen. Es ist weiterhin möglich, die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen mittels Preisänderungen und die sicherheitstechnischen Restriktionen mittels ein- oder beidseitiger Schranken im Modell anzupassen.

4.3 Resultat

Das Resultat der Modellanwendung ist eigentlich nicht spektakulär. Die ungefähr erwarteten Ergebnisse sind eingetroffen, wenn auch kleine Überraschungen nicht ausblieben (z.B. Holz). Die vorliegenden Ergebnisse sind denn auch nur als Versuch zur quantitativen Erfassung des schweizerischen Energieflusses zu werten, die je nach Wichtigkeit einzelner Daten auf einfache Art verändert werden können. Eigentlich sind die Resultate selbst genügend aussagekräftig. Deshalb wollen wir nur kurz auf sie eingehen.

Sämtliche Umwandlungsaktivitäten (X-Variablen), Kapazitätserweiterungen (Y-Variablen) und Endenergieverbrauche (R-Variablen) sind im Anhang graphisch dargestellt. Auf die numerische Wiedergabe der fast eintausend Daten soll deshalb an dieser Stelle verzichtet werden. Der Anhang wurde mit SAS/GRAPH[35] produziert. Mittels Reportgenerator im MPSX/370 werden alle Variablen der Lösung auf eine spezielle Datei geschrieben, die ihrerseits als Eingabedatei für SAS/GRAPH fungiert. In den Anhängen A - M (A, B M steht für das Nachfragesegment, also A-HEAT, B-MEWO M-LIGH) werden die Umwandlungsaktivitäten und die Kapazitätserweiterungen wiedergegeben. Die graphische Darstellung der X - Variablen ist im Anhang auf den Seiten mit den Fussnoten *X* (AX1, AX2... MX1) zu finden, während die analoge Darstellung der Y - Variablen auf den Seiten mit den Fussnoten *Y* wiedergegeben ist. Wenn mehrere Technologien das gleiche Nachfragesegment "bedienen", sind zusätzlich noch die kumulierten Anteile ** dargestellt (z.B. Anhang AX 10). Es ist darauf zu achten, dass die Ordinate wegen der markant verschiedenen Grössen nicht immer den gleichen Masstab aufweist, sondern den einzelnen Nachfragesegmenten angepasst ist. In den Darstellungen der X-Variablen sind auf der Ordinate die Nettobeträge der umgewandelten Endenergie [TJ] aufgezeichnet (Die Ausnahmen sind in der Fussnote ** erwähnt.), während bei den Darstellungen der Y-Variablen auf der Ordinate die Kapazitätserweiterungen [TJ/yr] aufgezeichnet sind. In Anhang Z schliesslich sind die Verbräuche an Endenergie [TJ] dargestellt.

Die Resultate der letzten Periode sind mit einem Vorbehalt zu versehen, weil die Investitionen sehr tief sind. Trotz des Endwertfaktors (vgl. 2.2), der die Investitionen für die Zeit nach Planungsende kostenmässig reduziert, sind unerwartete Effekte vor allem in der letzten Periode zu verzeichnen.

* Um die gewählte Lösung zu verbessern, müsste (bei einem weiteren Einsatz von MESSAGE) eine genaue Untersuchung über Aufwand und Ertrag im Import- / Exportgeschäft der Elektrizitätsgesellschaften durchgeführt werden. Wie schwierig sich allerdings solche Untersuchungen gestalten ist im Zusammenhang mit den divergierenden Argumentationen vor den letzten energiepolitischen Volksentscheiden deutlich zum Ausdruck gekommen.

** In den sog. Modal Splits werden allerdings nicht die Umwandlungsaktivitäten (Nettobetrag der umgewandelten Endenergie) kumuliert, sondern die erzeugten Nutzenergiemengen (z. B. Wärme im Haushalt). Rechnerisch werden die Umwandlungsaktivitäten (X - Variablen) mit dem Wirkungsgrad η multipliziert.

Allerdings sind diese "Endperioden - Effekte" weit verbreitet und nicht etwa nur bei MESSAGE anzutreffen. Die erfolgreichste Methode zur Verhinderung dieses Effektes liegt im Hinausschieben des Planungsendes, bzw. in der Nichtberücksichtigung der letzten Perioden. Wir wollen aber (vorläufig) alle Perioden berücksichtigen.

In den folgenden Abschnitten sollen einige interessante Aspekte näher erläutert werden.

4.3.1 Wärme im Haushalt

Die zugehörigen Daten sind in Anhang A 1 bis A 10 graphisch dargestellt.

Innerhalb dieser Gruppe, die in der Tagespresse die grösste Aufmerksamkeit genießt, fällt dem flüssigen Brennstoff die Funktion des Reservoirs und des Puffers zu, deshalb der schwankende Verlauf. Erstaunlich ist der steigende Anteil des Holzes. Hingegen wird die Elektroheizung (Zentralspeicher) bis zur letzten Periode nie aktiv. Teilweise wird diese Funktion allerdings von der Wärmepumpe übernommen. Die Heizung mittels Sonnenkollektoren kommt (wie auch in der Verbrauchergruppe Gewerbe - Landwirtschaft - Dienstleistung) nicht zum Zuge. Interessant ist die Frage, bei welchen Technologien die Schranken aktiv werden. Dabei ist zu unterscheiden, ob die Outputvariablen (X) beschränkt werden oder ob durch die Beschränkung der Investition (Y-Variablen), wenn also die Anlagen nicht gebaut werden können, die Umwandlung indirekt beschränkt wird.

X-Variablen:	Gas: Periode 1,2 sowie 8,9 und 10 Fernwärme: alle Perioden Isolation: Periode 7,8 und 9
Y-Variablen:	Gas: Perioden 3 bis 7, sowie 10 und 11 Kohle: Periode 1 und 2 Holz: alle Perioden Isolation Periode 1 bis 6 Wärmepumpe: Periode 4 bis 11

Somit wird einzig die Wärmeerzeugung mittels Gas in Periode 10 doppelt beschränkt. Die Aufteilung (vgl. Anhang AX 10) könnte sich zweifellos in diese Richtung entwickeln. Das Investitionsschwergewicht liegt bei der Ölheizung (allerdings als Puffer). Weitere bedeutende Investitionen werden für die Wärmeerzeugung mittels Gas, Holz und Wärmepumpe und für die Isolation zur Wärmeinsparung getätigt.

4.3.2 Wärme in Gewerbe - Landwirtschaft und Dienstleistung

Die zugehörigen Daten sind in Anhang D 1 bis D 9 graphisch dargestellt.

Der flüssige Brennstoff ist und bleibt der grosse Dominator in diesem Nachfragesegment. Wiederum erstaunlich ist der Holzanteil. Die Schranken sind wie folgt aktiv:

X-Variablen:	Gas: Periode 1 und 10 Fernwärme: alle Perioden
Y-Variablen:	fl. Brennstoff: Periode 1 Gas: Perioden 8 bis 10 Holz: Perioden 1 bis 10 W-K-K: Periode 1 bis 7

Somit wird einzig die Wärmeerzeugung mittels Gas in Periode 10 doppelt beschränkt. Die bedeutenden Investitionen liegen in der Öl- und Holzfeuerung, sowie bei der Wärme - Kraft -

Kopplung.

4.3.3 Mechanische Arbeit in Gewerbe - Landwirtschaft und Dienstleistung

Die zugehörigen Daten sind in Anhang E 1 bis E 3 graphisch dargestellt.

Die flüssigen Treibstoffe nehmen anteilmässig ab und werden nach einigen Jahren vollständig durch Elektrizität substituiert. Hier sind keine Schranken aktiv.

Die Investitionen beschränken sich auf die Elektrizitätsanwendungen.

4.3.4 Wärme in der Industrie

Die zugehörigen Daten sind in Anhang G 1 bis G 9 graphisch dargestellt.

Der schrumpfende Anteil des flüssigen Brennstoffes wird weitgehend durch die Kohle (!) ersetzt. Erstaunlicherweise wird kein einzige X-Schranke aktiv. Die Investitionen werden einzig bei der Holzfeuerung in den Perioden 4 bis 8 und bei Wärme - Kraft - Kopplung in den Perioden 2 und 3 beschränkt.

Die Investitionen beschränken sich fast ausschliesslich auf die Kohlefeuerung.

4.3.5 Chemische Prozessenergie in der Industrie

Die zugehörigen Daten sind in Anhang I 1 bis I 3 graphisch dargestellt.

Für die Chemieanwendungen wird die Kohle stetig durch die Elektrizität substituiert und fällt schliesslich weg.

Die Investitionen beschränken sich auf die Elektrizitätsanwendungen.

4.3.6 Mechanische Arbeit im Verkehr

Die zugehörigen Daten sind in Anhang L 1 bis L 9 graphisch dargestellt.

Im brisanten Verkehrsbereich ist eine leichte Verschiebung zur Elektrizität festzustellen. Allerdings wäre die Substitution viel massiver, wenn nicht die Schranken mit Ausnahme der Periode 5 für die Elektrizität aktiv wären.

Die Hauptinvestition liegt in der mechanischen Arbeit mit flüssigem Treibstoff.

Schliesslich soll noch das Hauptresultat, die Zusammensetzung der Endenergie kurz erläutert werden:

4.3.7 Zusammensetzung der Endenergie

Die zugehörigen Daten sind in Anhang Z 1 bis Z 16 graphisch dargestellt.

Auch für die Zusammensetzung der Endenergie sind die Erwartungen in etwa erfüllt worden. Auf den ersten Blick mag erstaunen, dass einige Endenergiearten in ungewohntem Ausmass in Anspruch genommen werden (z. B. hoher Anteil des Holzes, keine Sonnenenergie). Dies ergibt sich aber direkt aus der Tatsache, dass die entsprechenden Umwandlungstechnologien gemäss vorliegender Lösung nicht aktiviert werden, was wiederum eine Konsequenz der angewandten Kostendaten ist.

Die extremen Schwankungen der flüssigen Brenn- und Treibstoffe sowie des Holzes sind rein rechnerischer Natur (MPSX/370), weil beide Produktionsarten (Inland und Import) mit den

gleichen Preisen modelliert sind. Zur Verdeutlichung sind deshalb für die flüssigen Brenn- und Treibstoffe und das Holz auch die Summen von beiden Endenergiearten aufgeführt (Anhang Z 3, Z 6 und Z 14). Immerhin soll zum Abschluss noch für alle Endenergiearten eine durchschnittliche Entwicklung von 1982 bis 2002 wiedergegeben werden. Wir berechneten die **konstanten jährlichen Zuwachsraten während 20 Jahren** (nur Anfangswert verglichen mit dem Endwert). Diese Grössen sagen zwar nichts aus über die Entwicklung während des Planungszeitraumes, doch wird häufig mit ihnen argumentiert:

Endenergieart	durchschnittl. konstante Zuwachsrate
flüssige Brennstoffe (Inland)	-
flüssige Brennstoffe (Import)	-
flüssige Brennstoffe (Total)	+ 0.08
flüssige Treibstoffe (Inland)	-
flüssige Treibstoffe (Import)	-
flüssige Treibstoffe (Total)	+ 1.25
Elektrizität (Inland)	+ 3.40
Elektrizität (Import)	0.00
Elektrizität (Export)	0.00
Gas	+ 3.98
Kohle und Koks	+ 2.50
Holz (Inland)	-
Holz (Import)	-
Holz (Total)	+ 7.96
Fernwärme	+ 5.00
Industrieabfälle	- 0.84
Endenergie Total	+ 1.73

Tabelle 23. Durchschnittliche konstante jährliche Zuwachsraten

Die Bezeichnung "-" in der Tabelle bedeutet, dass eine vernünftige Aussage an dieser Stelle nicht möglich ist (vgl. Einleitung in 4.3.7).

Aus der Tabelle ist also ersichtlich, dass die Zuwachsrate an Endenergie kleiner ist als diejenige der Nutzenergie (1.73% gegenüber 2.15%). Diese Zahlen weisen (im Vergleich mit den Wirkungsgraden) wenigstens auf die Nützlichkeit einer solchen Untersuchung hin!

4.4 Kritische Punkte

Allgemein kann man festhalten, dass das Modell sehr rasch auf Änderungen in den Inputdaten reagiert. Nur schon durch geringfügige Änderungen kann die ganze Zusammensetzung der Technologieaktivitäten massiv geändert werden.

4.4.1 Energiepreise

Durch kleine Preiserhöhungen einer einzigen Endenergieart (etwa Kohle) fällt der entsprechende

Anteil auf das Minimum zusammen. Erstaunlich ist ebenfalls die Preissensitivität der Elektrizität, insbesondere im grenzüberschreitenden Energiefluss.

4.4.2 Laufende Kosten und Kapitalkosten

Für sämtliche Technologien kann man bezüglich der Kosten von einem labilen Gleichgewicht sprechen. Änderungen in den laufenden Kosten wirken sich sehr schnell aus, während Änderungen in den Investitionskosten sich erst nach einigen Perioden massiv auswirken. Interessant ist in diesem Zusammenhang die recht geringe Bedeutung der Anfangskapazität. So wird vorhandene Kapazität zwar genutzt, wenn die laufenden Kosten nicht zu hoch sind, doch schon nach wenigen Perioden sind meist billigere Anlagen gebaut worden.

4.4.3 Schranken

Die Schranken wurden, wie in 3.2.5 ausgeführt, recht willkürlich gesetzt. Es ist aber erstaunlich, dass sie praktisch nur für die Wärme im Haushalt mehrheitlich aktiv wurden. (Insgesamt sind 94 von 385 Schranken aktiv.) Durch das Schieben der Schranken kann man natürlich eigentliche Rangfolgen der Technologien, bzw. der Endenergie ermitteln. Meist bedarf es recht grosser Änderungen bis, eine Verschiebung auf mehrere andere Technologien erfolgt, dies in markantem Gegensatz zu Änderungen in den Kostendaten.

4.4.4 Wirkungsgrad

Mit den Wirkungsgraden haben wir keine näheren Untersuchungen durchgeführt, da sie die genauesten Daten des Inputs sein sollten. Auch durch eine massive Verbesserung eines einzelnen Wirkungsgrades (etwa neue Ölbrenner) braucht es doch eine lange Zeit, bis sie sich generell durchzusetzen vermag. In diesem Zusammenhang erstaunt der schlechte Wirkungsgrad von LIQAHEAT alle Fachleute.

4.4.5 Zinsfuss

Änderungen im Zinsfuss wirken sich kaum auf die Zusammensetzung der Endenergie aus. Für Schwankungen im Bereich zwischen 4% und 8% (Wir rechnen mit 6%.) ist die Zusammensetzung bis auf kleine Details stabil.

5. Schlussbetrachtung

In der Einleitung sind mögliche Fragestellungen an MESSAGE aufgeführt worden. Ohne auf Einzelheiten einzugehen, können wir zum Abschluss festhalten, dass wir auf solche Fragen mit MESSAGE vernünftige Antworten geben können.

Auch die Hauptfrage, die wir zu Beginn der Arbeit gestellt haben (vgl. 1.3), können wir an dieser Stelle positiv beantworten. Das globale Modell MESSAGE lässt sich für ein kleines Energiesystem einsetzen. Allerdings sind einige Einschränkungen anzufügen.

5.1 Anwendungsmöglichkeiten und Benutzerfreundlichkeit

Bei Abschluss einer Arbeit, die schwergewichtig in der Entwicklung und Bereitstellung von Werkzeugen liegt, stellt sich zwingend die Frage nach (weiteren) Anwendungsmöglichkeiten. Dabei sind für uns mindestens zwei Fragestellungen zu berücksichtigen:

Ist überhaupt jemand an Antworten interessiert, wie sie MESSAGE zu geben vermag?

— Ist das Computerprogramm vernünftig zu handhaben?

Auf die erste Frage wollen wir selbst keine direkte Antwort geben.

Wie steht es aber mit dem Computerprogramm?

MESSAGE ist zwar nicht unbedingt anwenderfreundlich (komplizierte Dateneingabe und einige eigentlichen Fallen bei Modelländerungen), aber immerhin konnten wir zeigen, dass Anwendungen möglich sind. (Auf eine Wiedergabe sämtlicher Computerprogramme im Rahmen dieser Arbeit wird verzichtet.) Damit sich MESSAGE aber weiter einsetzen lässt, sind einige Erleichterungen für den direkten Anwender anabdingbar. Auf der Programmstufe stehen dabei zwei Stossrichtungen im Vordergrund.

1. Der Matrixgenerator muss soweit vereinfacht werden, dass kleinere Änderungen der Inputdaten ohne grossen Aufwand und vor allem ohne Risiko für die unveränderten Daten durchführbar werden. Dabei wäre es wünschenswert, wenn die Aufbereitung der Inputdaten im Dialog möglich würde.
2. Ein Reportgenerator müsste unbedingt direkt in das Programm von MESSAGE eingebaut werden. Der externe Weg zu SAS/GRAPH ist nicht nur zeitaufwendig, sondern auch fehleranfällig (z. B. Zugriff auf falsche Dateien).

Diese Verbesserungsvorschläge betreffen allerdings ausschliesslich den Umgang mit dem Rechner. Der (grosse) Aufwand für die Aufbereitung der spezifischen Daten bleibt dabei natürlich unverändert. Weitere Programmänderungen ergeben sich ebenso aus den folgenden möglichen Modellerweiterungen.

5.2 Modellerweiterungen

Das Projekt MESSAGE kann nur teilweise als abgeschlossen betrachtet werden. Das gesteckte Teilziel ist mit der vorliegenden Arbeit zwar erreicht worden, doch sind Modellerweiterungen nicht nur möglich, sondern geradezu wünschenswert. Im Moment sehen wir die folgenden erfolgversprechenden Hauptstossrichtungen:

1. Verfeinerung und Erweiterung der Technologien

(Diese Arbeit ist nur mit Hilfe der Industrie [Anbieter von Umwandlungsanlagen] und der

Fachverbände [Quervergleiche innerhalb von Branchen] möglich.

2. Erweiterung um eine zweite Stufe, nämlich vom Endverbrauch zum Bruttoverbrauch[6, p.4f]
3. **gleichzeitiger** Einsatz von oberen und unteren Beschränkungen der Restriktionen (etwa Stromimport) und der Variablen
4. Aufbereitung des Modells (vgl. 5.1) und der Modellumgebung (etwa Beschreibungen) für einen nationalen Standardeinsatz

5.3 Quervergleiche

Quervergleiche mit anderen Untersuchungen über die zukünftige Energiebedarfsdeckung sind nur bedingt möglich, weil meist ganz bestimmte Fragestellungen unter ganz bestimmten Voraussetzungen beantwortet werden. So sind etwa in der letzten Untersuchung mit MARKAL[24] sechs verschiedene Szenarien durchgeführt worden, von denen aber jedes einzelne Szenario in der Ausgangslage beträchtliche Abweichungen zu unserer ("Grund-") Version aufweist. Dabei wird deutlich, wie bedeutend der Einfluss der (zweifelloso notwendigen) Annahmen auf die Resultate ist. Immerhin lässt sich mit den Quervergleichen abschätzen, ob unsere Resultate im Rahmen anderer Untersuchungen liegen; doch ist in der Interpretation grösste Vorsicht am Platz.

Im Vergleich mit MARKAL[24, p.12f] sind unsere Resultate unter Berücksichtigung der Szenariennahmen (schwierig abzuschätzen) in zwei Punkten markant unterschiedlich. Bei uns ist sowohl der **Gas- als auch der Holzanteil** grösser.

In der ORL-Studie[17, Anhang 14ff] sinkt in allen drei Szenarien der Anteil der flüssigen Brenn- und Treibstoffe zum Teil so markant (mindestens teilweise als Ziel vorgegeben), dass es unsinnig wird, die teils unbedeutenden Restanteile näher zu untersuchen.

Leider liegen auch den zwei expliziten Darstellungen der Rollenverteilung unter den Energieträgern im GEK-Schlussbericht[10, p.148] andere Annahmen zu Grunde (keine eingriffslose Entwicklung und keine relative Preissteigerung). Trotzdem zeigen sie Entwicklungen, die mit unseren Resultaten vergleichbar sind. Doch liegen unsere Elektrizitätsanteile (Wasserkraft und Kernenergie sind bei uns zusammengefasst.) wesentlich tiefer, während die Bedeutung der "Neuen Energien" mit unserer Modellierung nicht zu vergleichen sind.

Bei der Durchsicht der verschiedenen Untersuchungen konnten wir immerhin feststellen, dass die Ergebnisse unseres Tests mit MESSAGE, obwohl nicht das Hauptziel unserer Arbeit, in ähnliche Richtungen wie die vergleichbaren Analysen zeigen.

5.4 Arbeitsaufwand

Der grösste Teil der Zeitinvestition für das Projekt mit MESSAGE wurde für die Arbeit am Bildschirm (Terminal) und für die Datenaufbereitung verwendet. Dabei standen für die Programmierarbeit zwar eine Reihe von Dokumenten zur Verfügung, die aber kaum den neuesten Erkenntnissen der Programmdokumentation entsprechen. In der Datenaufbereitung standen wir einerseits vor dem Problem der mangelnden Erfahrung und andererseits vor einem Haufen von Daten mit sehr unterschiedlicher Qualität. Die Anzahl der Veröffentlichungen zu energiewirtschaftlichen und -politischen Fragen ist in den letzten Jahren ins Unermessliche gestiegen und kaum mehr überschaubar.

5.5 Fazit

Mit der vorliegenden Arbeit konnten wir zeigen, dass sich ein zwar spezielles, aber globales Modell auch für die Schweiz anwenden lässt. Eine erste Untersuchung ist, so hoffen wir, erfolgreich durchgeführt worden. Die Werkzeuge sind vorhanden, interessierte Kreise könnten somit im Bedarfsfall, unter Vorbehalt der erwähnten Verbesserungen und Erweiterungen, davon Gebrauch machen.

Referenzen

1. Agnew M., Schrattenholzer L., Voss A.: User's Guide for the MESSAGE Computer Program. Laxemburg: 1978
2. Alusuisse, Schweizerische Aluminium AG: Sonnenenergie, Möglichkeiten der Nutzung der Sonnenenergie in der Schweiz - Dezentrale Nutzung / Erzeugung von Wärme.
in: Schriftenreihe der Eidg. Kommission für die Gesamtenergiekonzeption, Studie Nr.8, Bern: EDMZ 1974
3. Angelini T.:Entwicklungsperspektiven des schweizerischen Wohnungsbaus (Schriftenreihe Wohnungsbau 27d). Bern: 1974
4. Balabanov T., Dranishnikov N., Papin A., Schrattenholzer L., Seele U., Strubegger M.: Excerpt on Message and Introductory Overview.
taken from the IIASA Set of Energy Models: Documentation of the Global Runs.
Schrattenholzer M.: Scientific Editor, Bacher-Helm M.: Technical Editor. Laxemburg: 1982
5. Bundesamt für Energiewirtschaft: Schweizerische Elektrizitätsstatistik 1983.
in: Sonderdruck aus Bulletin SEV/VSE, Nr. 8/1984, EDMZ 1984
6. Bundesamt für Energiewirtschaft und Schweizerisches Nationalkomitee der Weltenergiekonferenz: Schweizerische Gesamtenergiestatistik 1982.
in: Sonderdruck aus Bulletin SEV/VSE, Nr. 13/1983, EDMZ 1983
7. Bundesamt für Energiewirtschaft und Schweizerisches Nationalkomitee der Weltenergiekonferenz: Schweizerische Gesamtenergiestatistik 1983.
in: Sonderdruck aus Bulletin SEV/VSE, Nr. 13/1984, EDMZ 1984
8. Bundesamt für Statistik: Statistisches Jahrbuch der Schweiz 1983. Basel: Birkhäuserverlag 1984
9. Carlevaro F., Spierer C.: La demande d'électricité en Suisse, Analyse historique et perspectives
in: Série de publications de l'Office fédéral de l'énergie, Etude no 9. Bern: EDMZ 1980
10. Eidgenössische Kommission für die Gesamtenergiekonzeption: Das schweizerische Energiekonzept, Schlussbericht. Bern: EDMZ 1978
11. EIR, Abteilung Wärmetechnik: Wärme - Kraft - Kopplung in nuklearen und konventionellen Anlagen
in: Schriftenreihe des Bundesamtes für Energiewirtschaft, Studie Nr. 22, Bern: EDMZ 1981
12. Energy Systems Program Group: Energy in a Finite World, A Global System Analysis. Report by the Energy Systems Program Group of the International Institute for Applied Systems Analysis. Häfele W., Program Leader; (Cambridge, MASS.): Ballinger Publishing Company 1981
13. Energy Systems Program Group: Energy in a Finite World, Paths to a Sustainable Future. Report by the Energy Systems Program Group of the International Institute for Applied Systems Analysis. Häfele W., Program Leader; Written by Jeanne Anderer with Alan

McDonald and Nebojsa Nakicenovic. (Cambridge, Mass.): Ballinger Publishing Company 1981

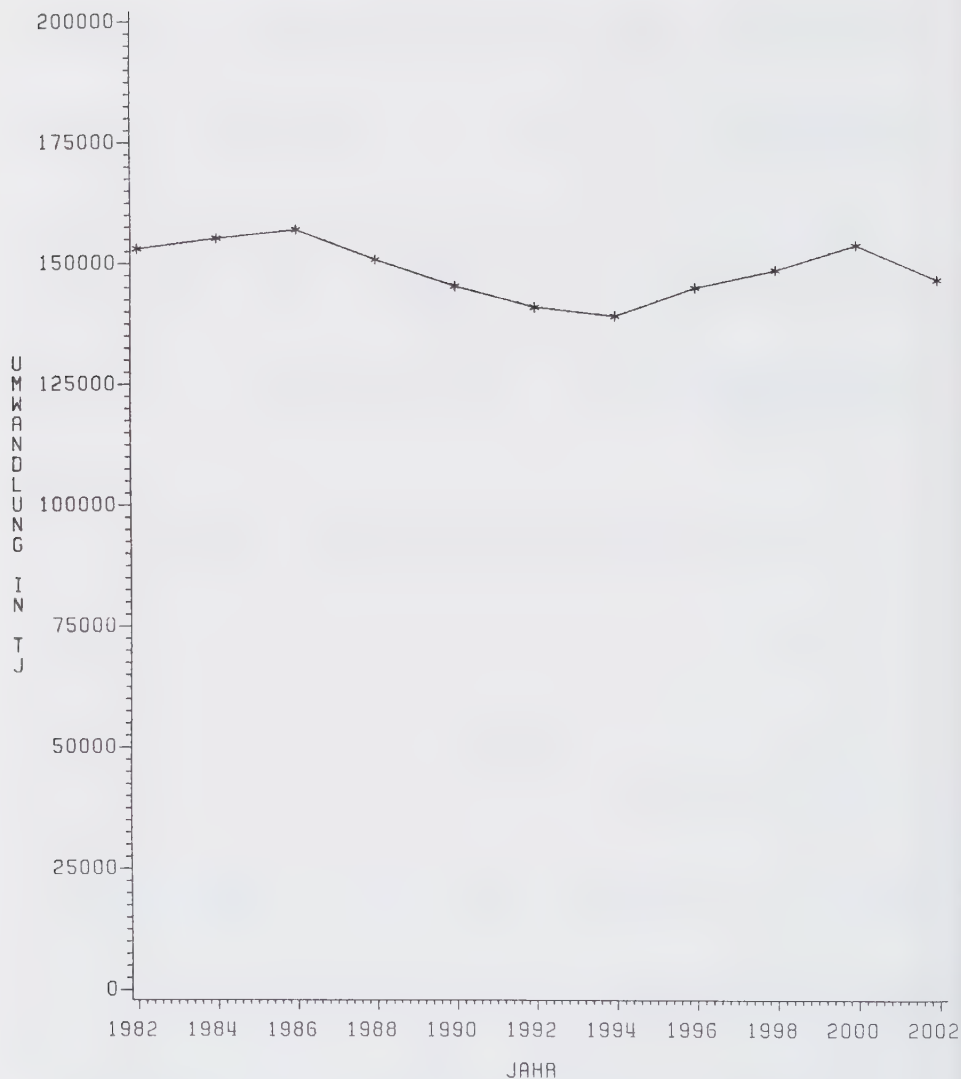
14. EPF - Lausanne (Institut de thermodynamique): Application de la comptabilité exergétique au problème du chauffage à distance en Suisse.
in: Série de publications de la Commission fédérale de la conception globale de l'énergie. Etude no 3, Bern: EDMZ 1976
15. Häfele W., Schrattenholzer L.: Modelle für Energiebedarf und -verbrauch in weltweitem Rahmen.
in: Voss A., Schmitz K. (Herausgeber): Energiemodelle für die Bundesrepublik Deutschland. Köln: Verlag TÜV Rheinland 1980
16. Hess W.: Elektrizität im Dienste der Luftreinhaltung.
in: Bulletin SEV/VSE 76(1985)3
17. Huber J., Schmid B., Zaengerle R.: Perspektiven des Energiewesens in der Schweiz und räumliche Konsequenzen (Entwurf). ORL-ETHZ: August 1983
18. IBM Mathematical Programming System, Extended/370 (MPSX/370). Program Reference Manual: Third Edition 1977
19. Kall P.: Mathematische Methoden des Operations Research. Stuttgart: Teubner 1976
20. Kall P., Quadroni A., Rüst L.: MESSAGE - Anwendungsmöglichkeiten eines globalen Energiemodells in der Schweiz. Institut für Operations Research, Uni Zürich: 1984
21. Kirchgässner G.: Die Energienachfrage aus ingenieurwissenschaftlicher Sicht. Working Paper des Projektes ZENCAP, Institut für Wirtschaftsforschung der ETH Zürich, Februar 1984
22. Kline D.; Swift M.: A Catalog of Energy Models Occasional Paper EMF 1.0. (Stanford): 1978
23. Koebel M.: Wie effektiv arbeiten Ölf Feuerungsanlagen?
in: Separatdruck aus EIR-Bericht Nr. 43, Mai 1981
24. Kypreos S.: Kostenoptimierte Energieversorgungs-Szenarien für die Schweiz und deren politische Randbedingungen. EIR-Bericht Nr.516, Würenlingen: 1984
25. Kypreos S., Van Berchem P., Wochele J.: "Modal Splits" für die schweizerische Energieversorgung bis zum Jahre 2000. EIR, Würenlingen: 1982
26. Ledergerber E.: Wege aus der Energiefalle - Handlungsspielräume und Strategien für eine unabhängige Energieversorgung der Schweiz. St. Galler Dissertation, Diessenhofen: Rügger 1976
27. Messner S.: USERS GUIDE FOR THE MATRIX GENERATOR OF MESSAGE II. DRAFT, 1982
28. Messner S., Strubegger M.: MESSAGE II - A Detailed Energy model. DRAFT, 1982
29. Motor Columbus AG: Die Kosten von Energieverknappung und Energieüberschüssen.
in: Schriftreihe der Eidg. Kommission für die Gesamtenergiekonzeption, Studie Nr. 6, Bern: EDMZ 1979

30. Motor Columbus AG: Die Kosten der Energieversorgung in der Schweiz.
in: Schriftreihe der Eidg. Kommission für die Gesamtenergiekonzeption, Studie Nr. 2, Bern:
EDMZ (1976)
31. Motor Columbus AG: Energie-Risiko-Analyse, Die ökonomischen Konsequenzen einer Störung in
der Erdölversorgung der Schweiz.
in: Schriftreihe der Eidg. Kommission für die Gesamtenergiekonzeption, Studie Nr. 20, Bern:
EDMZ 1978
32. Motor Columbus AG: Wirtschaftlichkeitsvergleich von Heizsystemen
in: Schriftreihe des Bundesamtes für Energiewirtschaft, Studie Nr.12, Bern: EDMZ 1980
33. OECD/International Energy Agency: Energy prices and taxes, second quarter 1984 and
historical series from first quarter 1978 to first quarter 1984. Paris: 1984
34. SAGES (Schweizerische Aktion Gemeinsinn für Energiesparen): Schweizer Energiefachbuch
1985. St. Gallen: M & T Verlag 1984
35. SAS (Statistical Analysis System) Institute: SAS/GRAPH, Users Guide. 1981 Edition
36. St.Galler Zentrum für Zukunftsforschung (SGZZ) unter Mitarbeit der Prognos AG, Basel:
Entwicklungsperspektiven des Endenergiebedarfs - Eingriffslose Entwicklung.
in: Schriftreihe der Eidg. Kommission für die Gesamtenergiekonzeption, Studie Nr. 19, Bern:
EDMZ 1978
37. Schilling H.-D., Bonn B., Kreusing H.: Moderne Technologien zur Wärmeerzeugung aus Kohle
und Koks.
in: VDI-Bericht, Nr.511: Kohle im Wärmemarkt, Düsseldorf: VDI-Verlag 1984
38. Schrattenholzer L.: Modelluntersuchungen langfristiger Strategien der Energieversorgung
Österreichs. Dissertation (Technische Universität Wien): 1979
39. Schweizerischer Handels- und Industrie-Verein: Vorort/Jahresbericht 1982/83. Buchdruckerei
Stäfa AG 1983
40. Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband: Ausmass und Bedeutung der noch ungenutzten
Schweizer Wasserkräfte.
in: Schriftreihe der Eidg. Kommission für die Gesamtenergiekonzeption, Studie Nr. 13, Bern:
EDMZ 1977
41. SIEMENS AG: Operating System BS3000, Fortran 77, Reference Manuel. Version 01, April
1981
42. Sonnenenergie - Fachverband Schweiz (SOFAS): Die Wirtschaftlichkeit von Solaranlagen (aktive
Sonnenenergienutzung).
in: Sonderdruck aus Fachzeitschrift für neuzeitliche Energieanwendung "Heizung Klima" Nr.
3/1984
43. Valenti P.: Messkampagne an Sonnenenergieanlagen, Elektro-Wärmepumpenanlagen
(Schlussbericht). Würenlingen: 1984

44. Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE): Der zukünftige Energiebedarf: eine Herausforderung.
in: Bulletin SEV/VSE 65(1974)19
45. Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE): Operations Research in der Elektrizitätswirtschaft.
in: Bulletin SEV/VSE 65(1974)9
46. Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE): Vorschau auf die Elektrizitätsversorgung der Schweiz 1979 - 1990 (Sechster Zehn-Werke-Bericht). 1979
47. Verband Schweizerischer Öl- und Gasbrennerfabrikanten (VSO) / Arbeitsgemeinschaft Wärmepumpen (AWP): Tarife für Service- und Regiearbeiten. 1. Januar 1984
48. Voss A.: Anspruch und Wirklichkeit von Energiemodellen.
in: Voss A., Schmitz K. (Herausgeber): Energiemodelle für die Bundesrepublik Deutschland.
Köln: Verlag TÜV Rheinland 1980

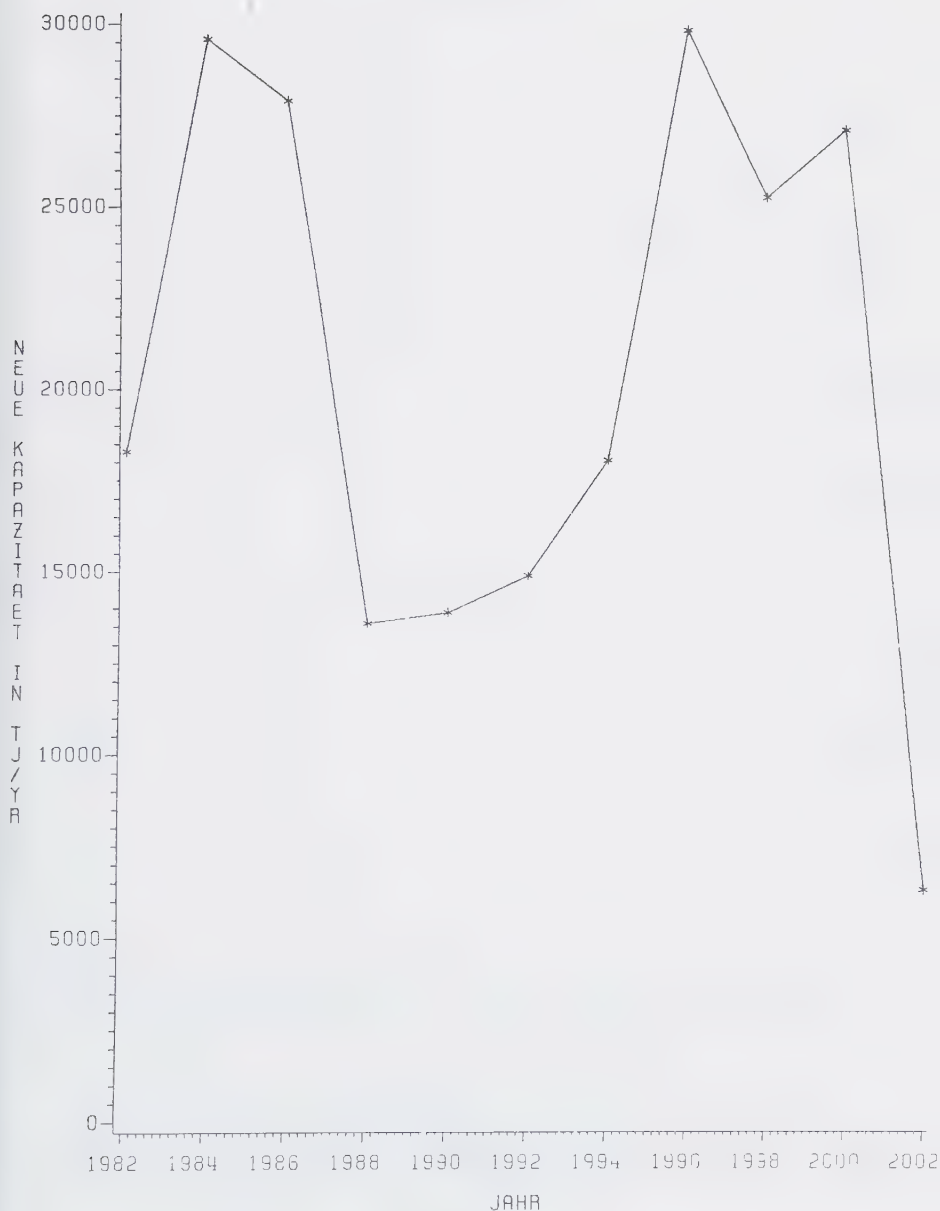
OEL – HEIZUNG

(HAUSHALT)



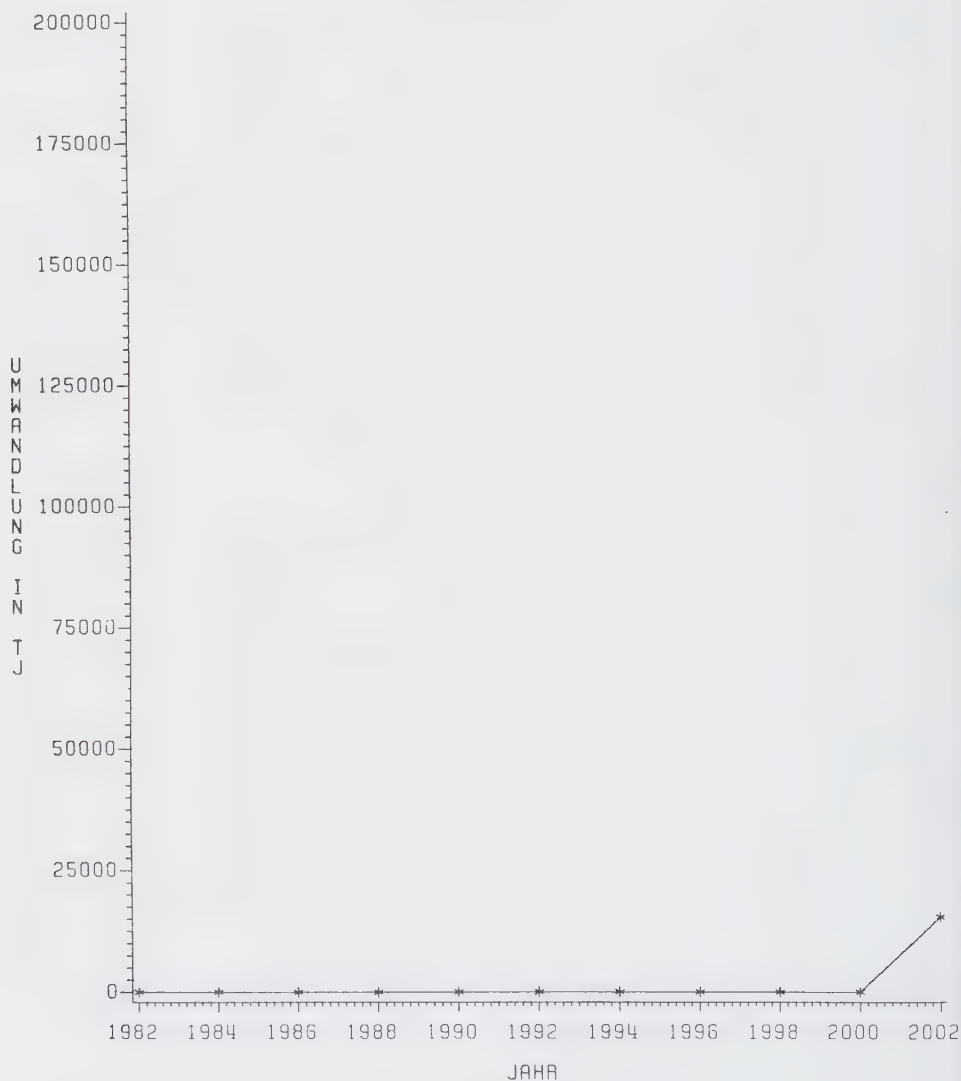
OEL - HEIZUNG

(HAUSHALT)



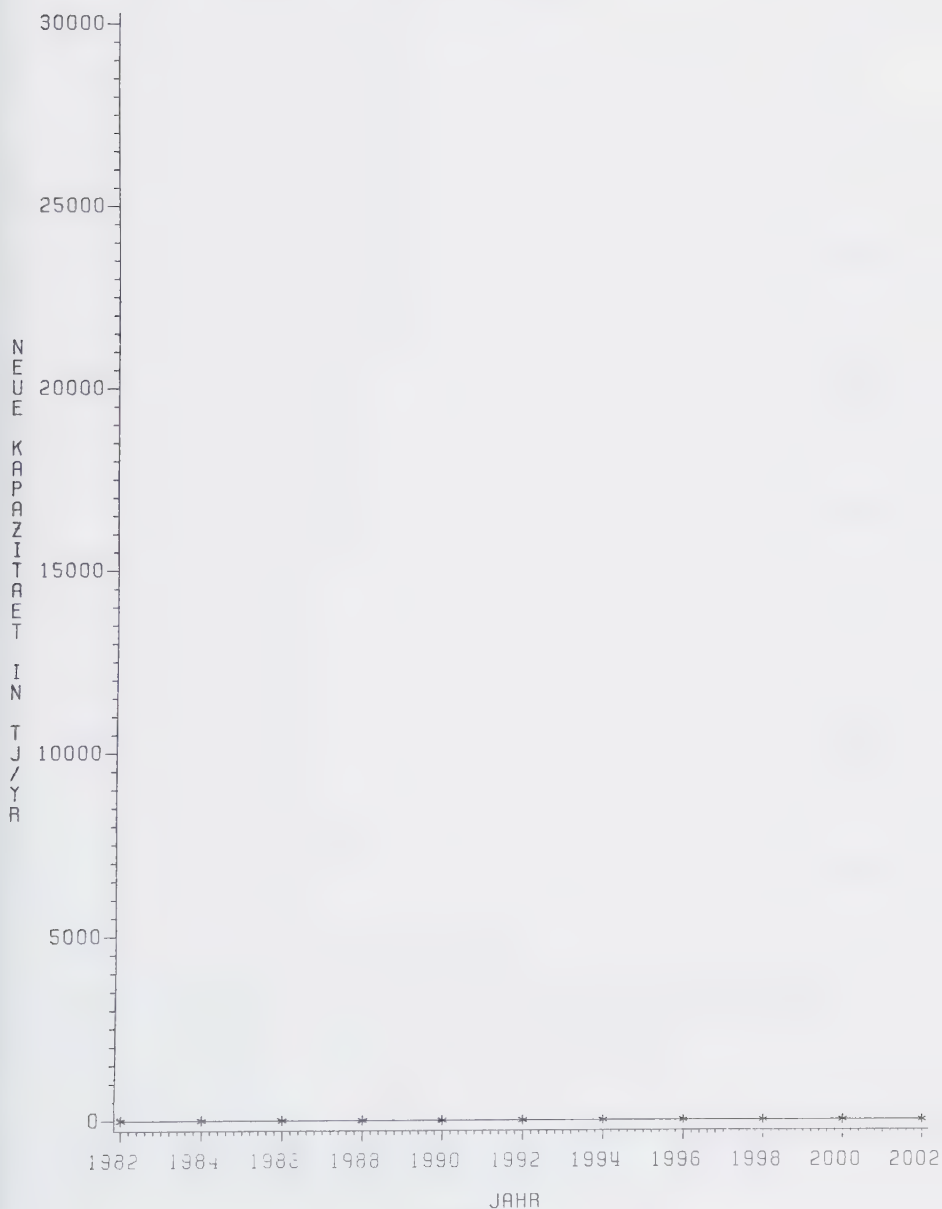
ELEKTRISCHE HEIZUNG

(HAUSHALT)



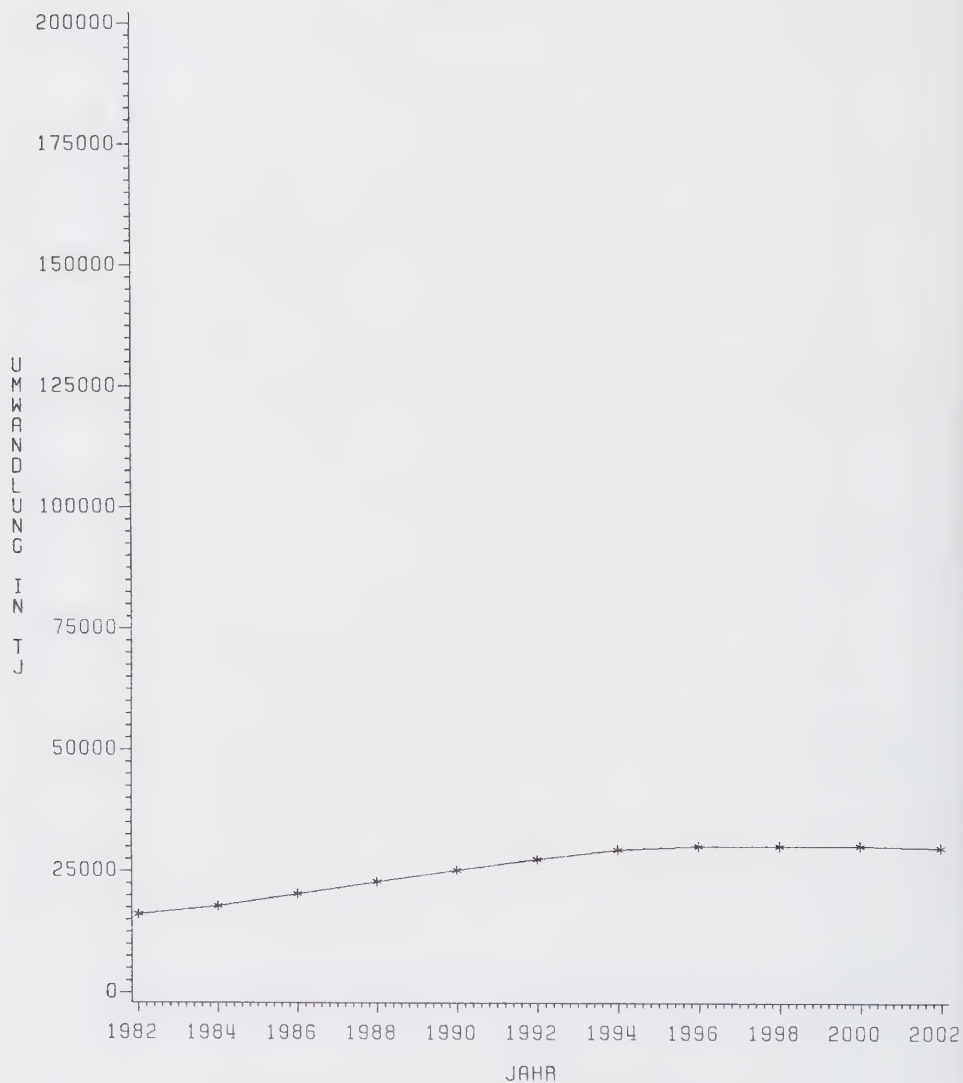
ELEKTRISCHE HEIZUNG

(HAUSHALT)



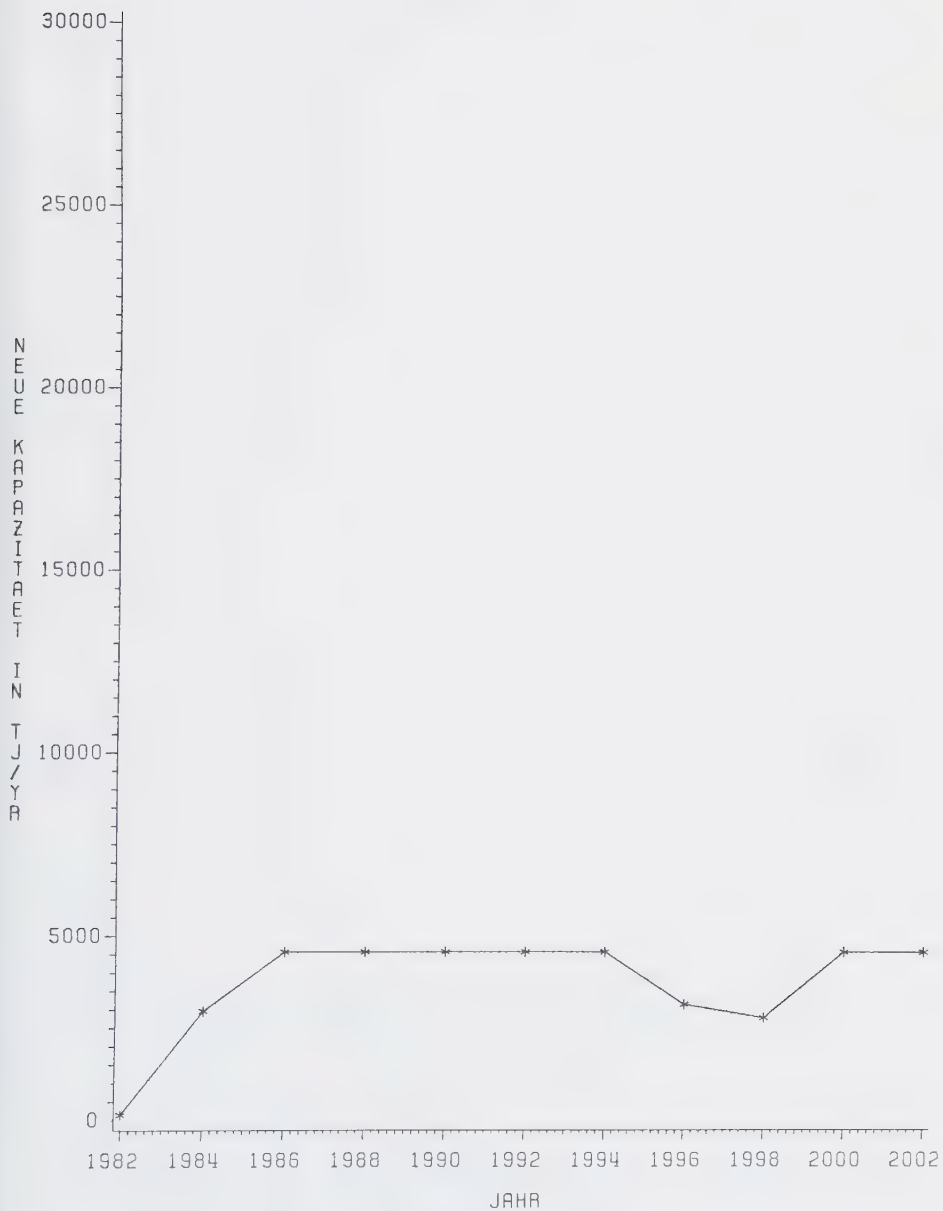
GAS – HEIZUNG

(HAUSHALT)



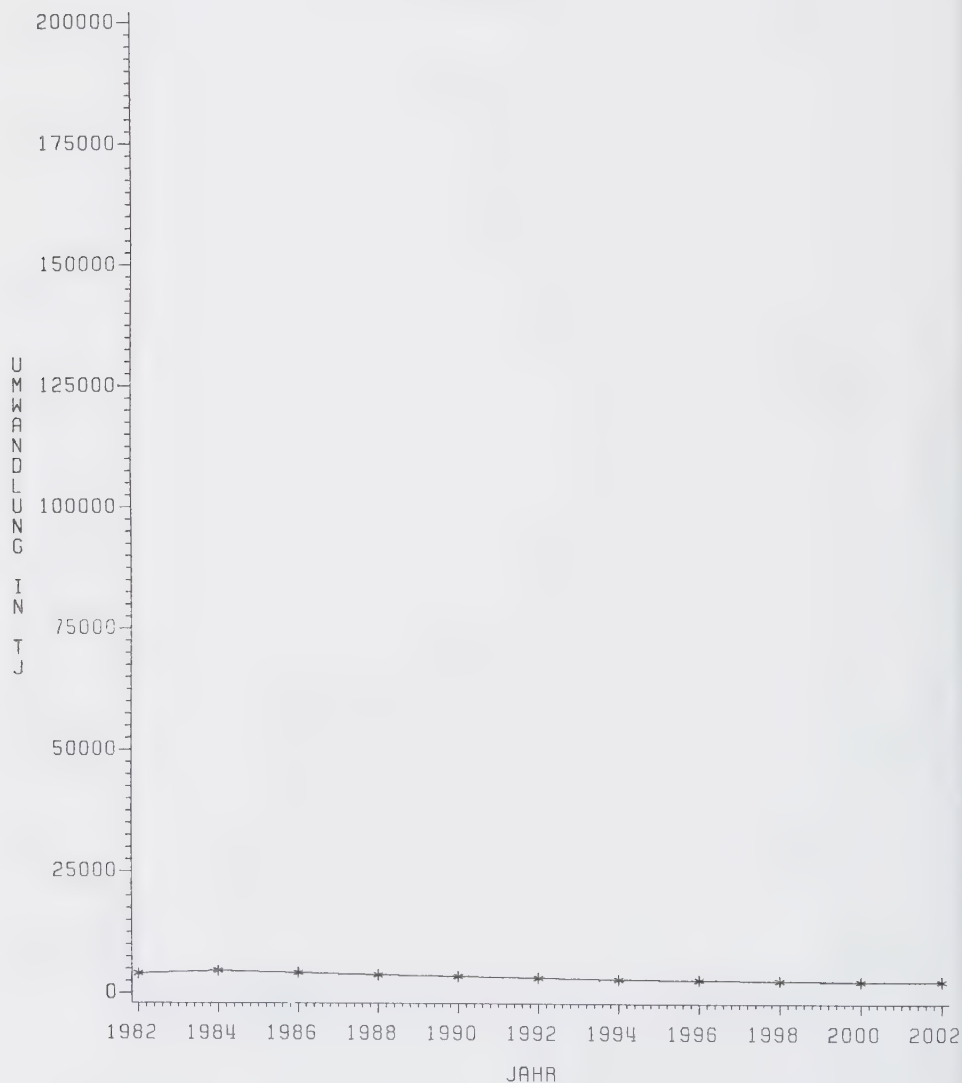
GAS – HEIZUNG

(HAUSHALT)



KOHLE – HEIZUNG

(HAUSHALT)



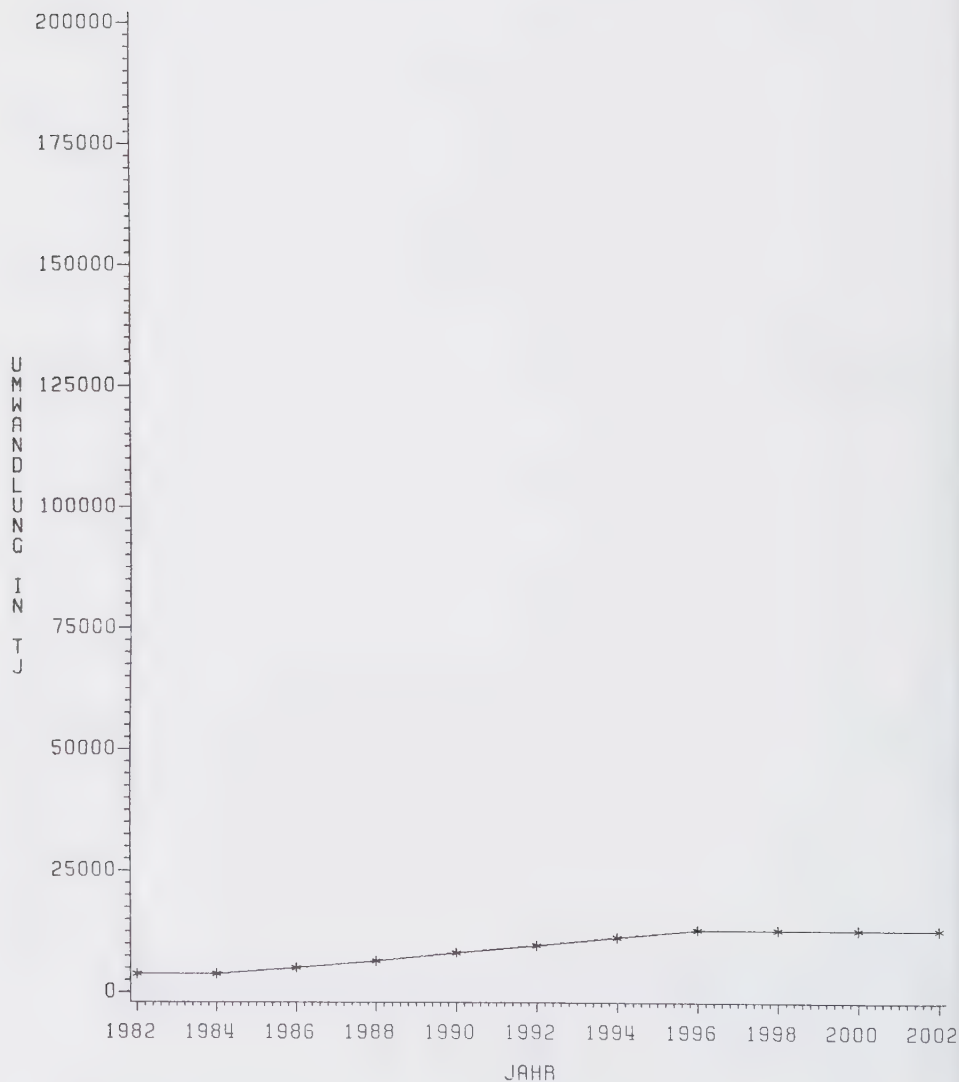
KOHLE - HEIZUNG

(HAUSHALT)



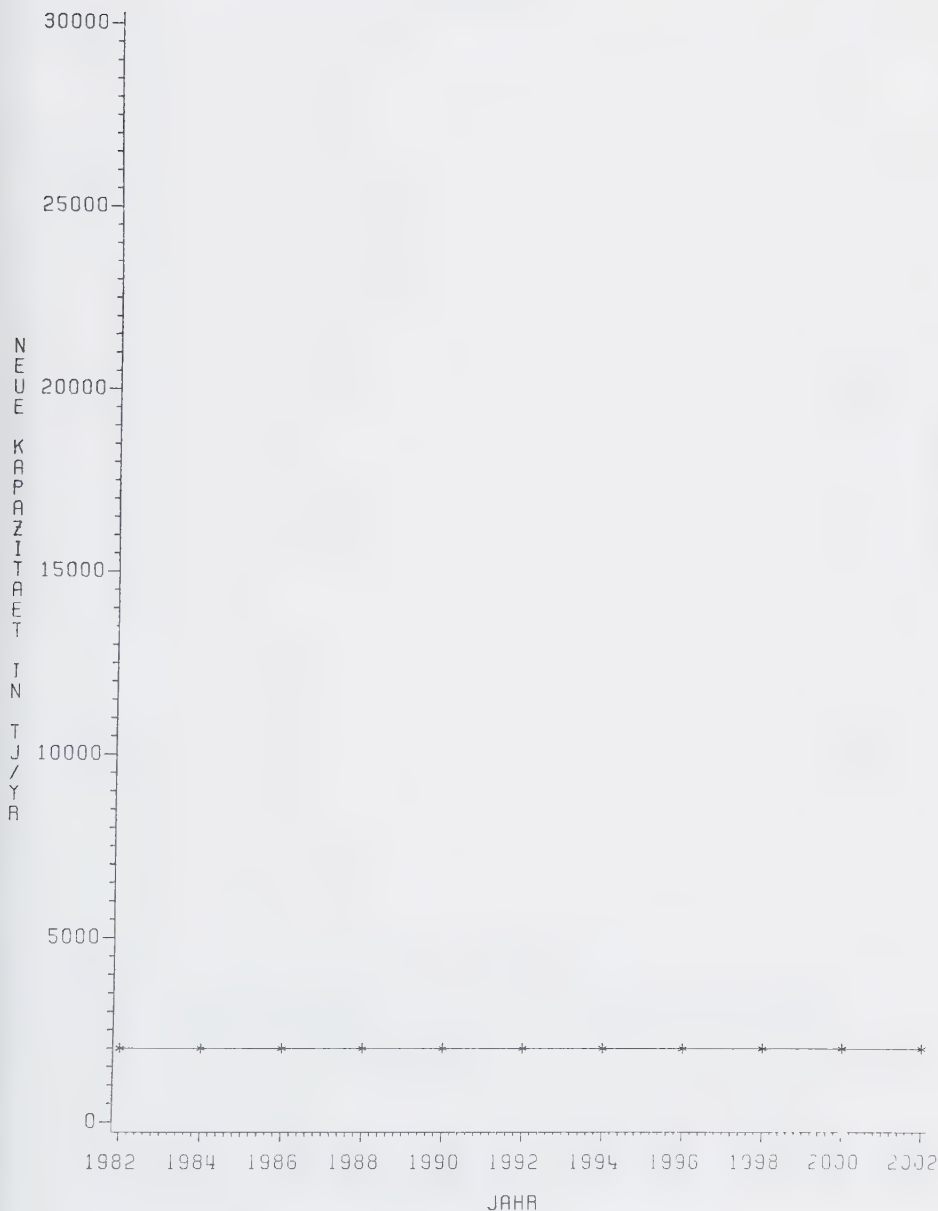
HOLZ – HEIZUNG

(HAUSHALT)



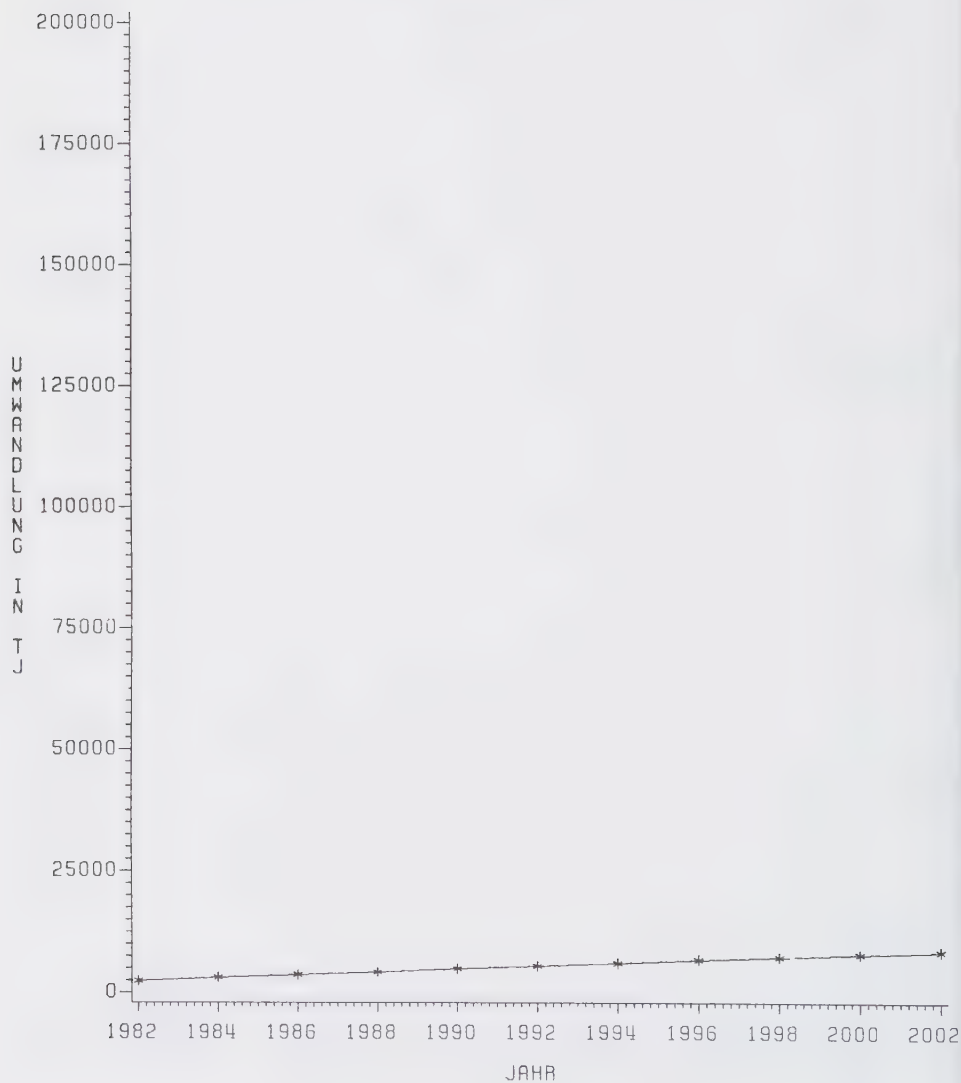
HOLZ - HEIZUNG

(HAUSHALT)



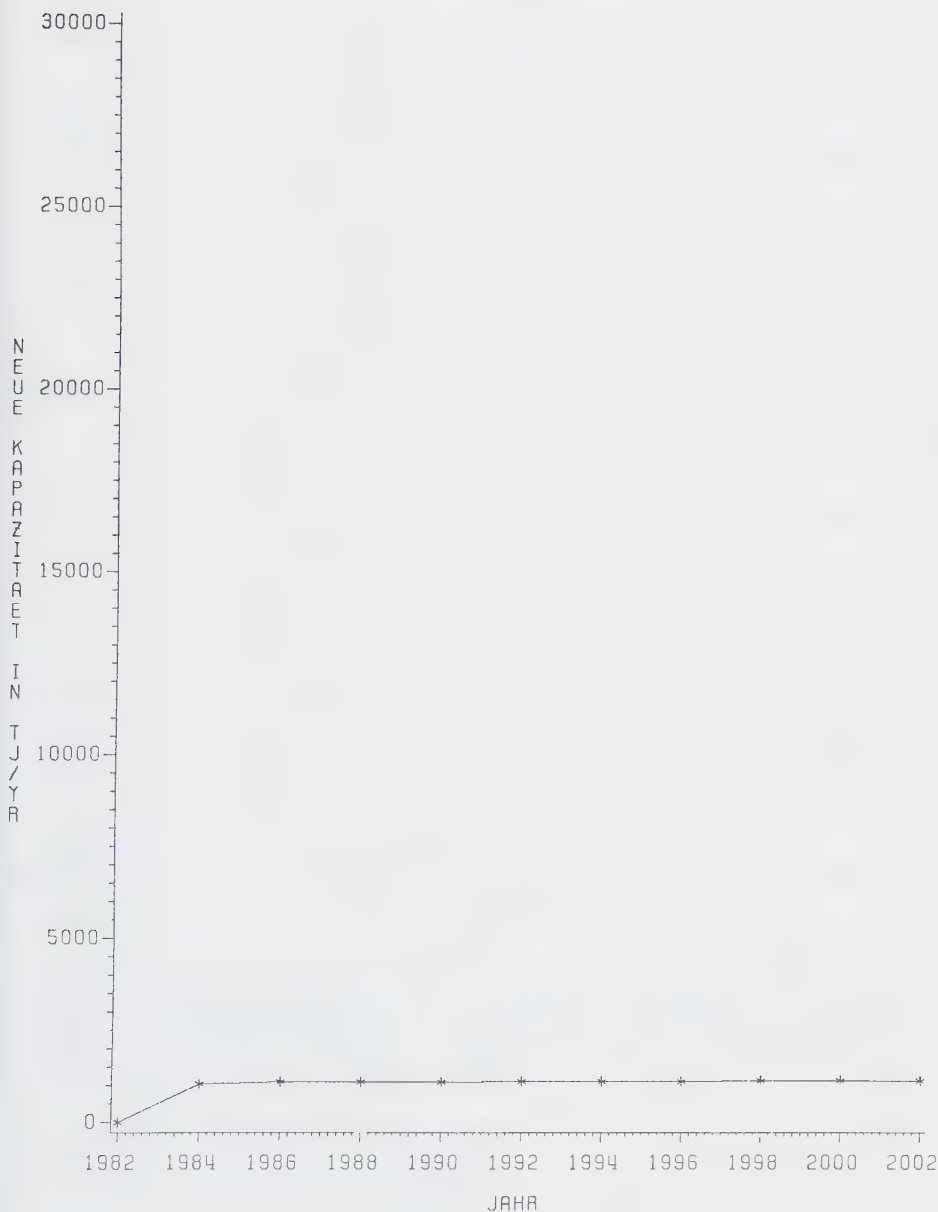
HEIZUNG MIT FERNWAERME

(HAUSHALT)

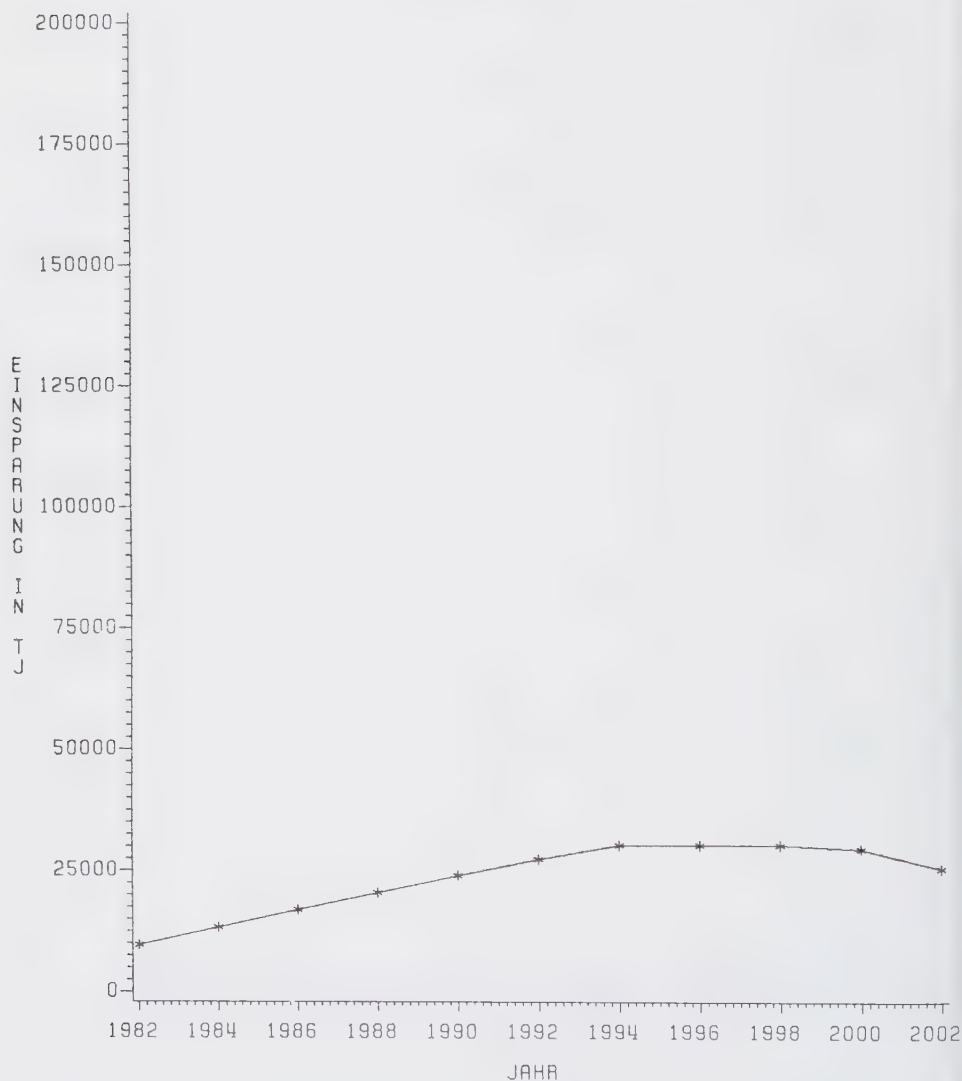


HEIZUNG MIT FERNWAERME

(HAUSHALT)

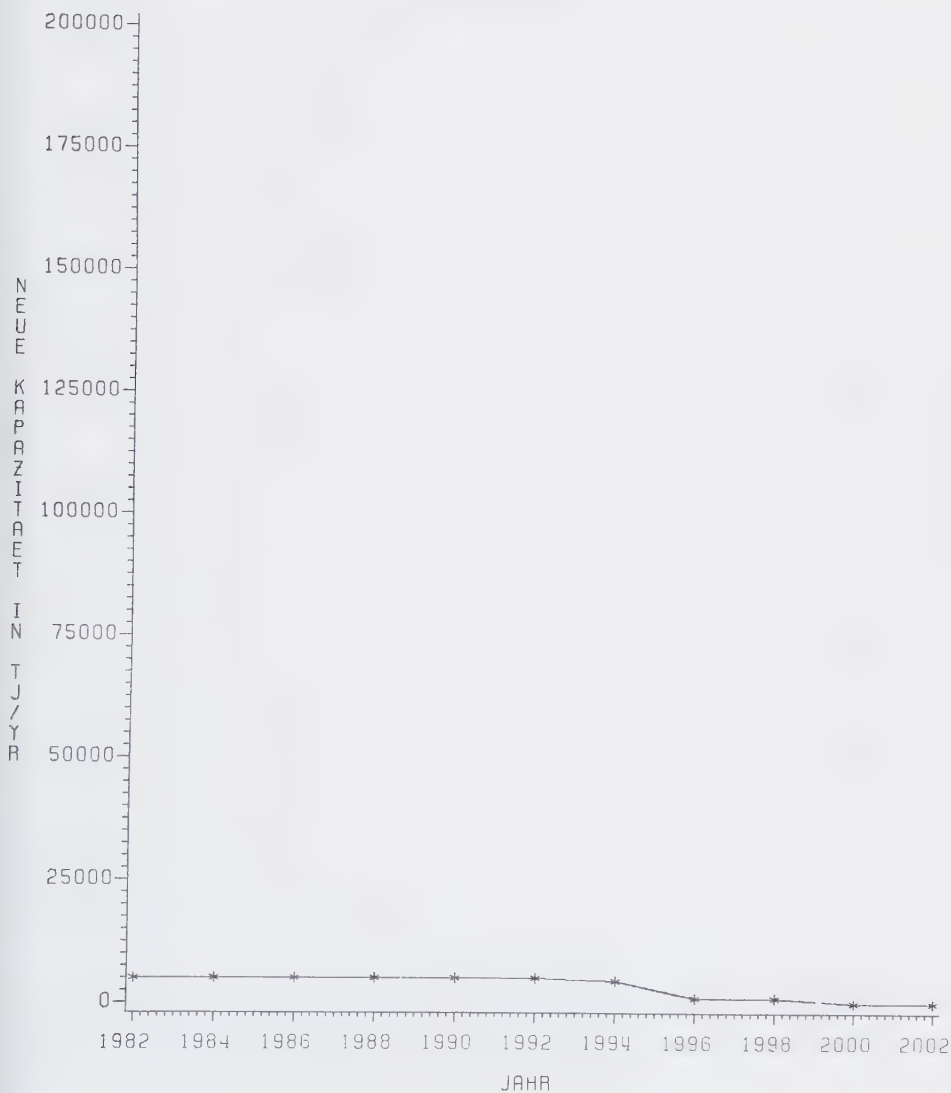


WAERMEEINSPARUNG DURCH ISOLATION (HAUSHALT)



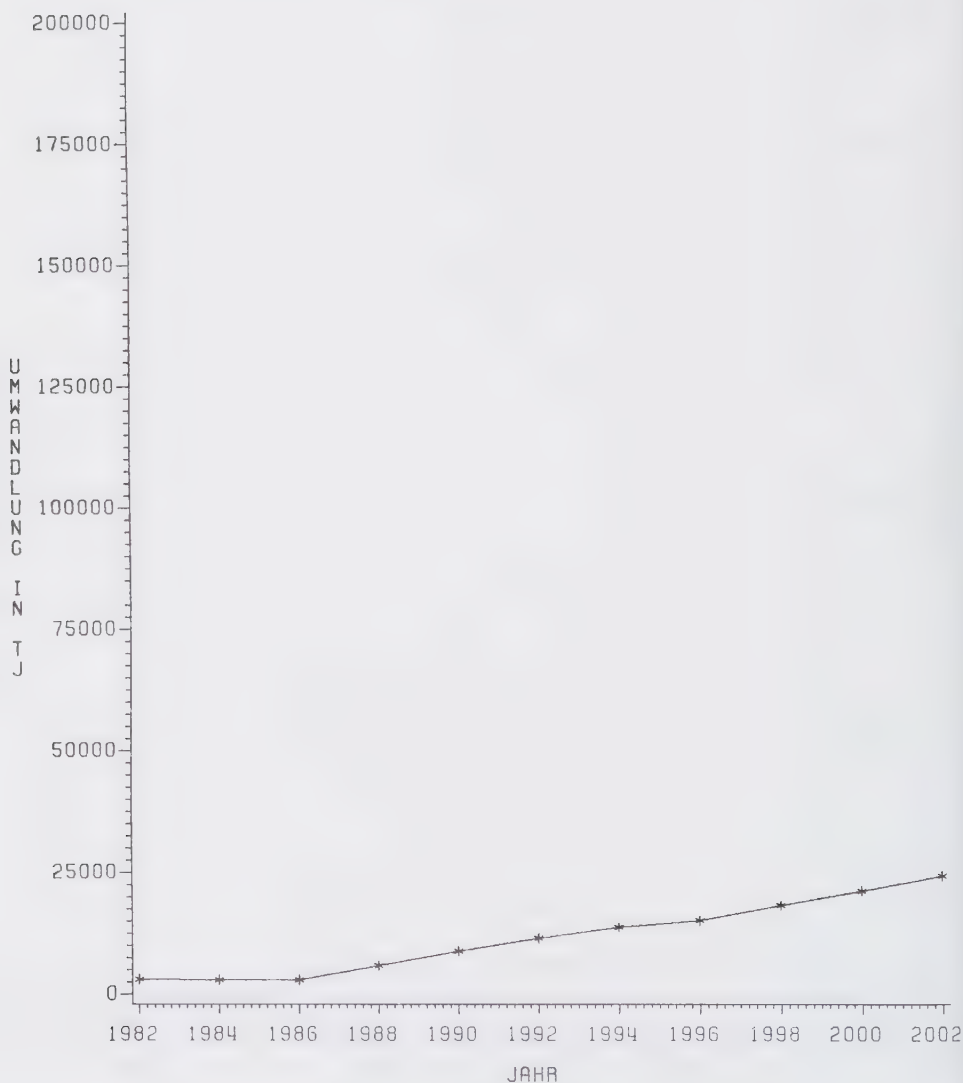
NEUE ISOLATIONEN

(HAUSHALT)



HEIZUNG MIT WAERMEPUMPE

(HAUSHALT)



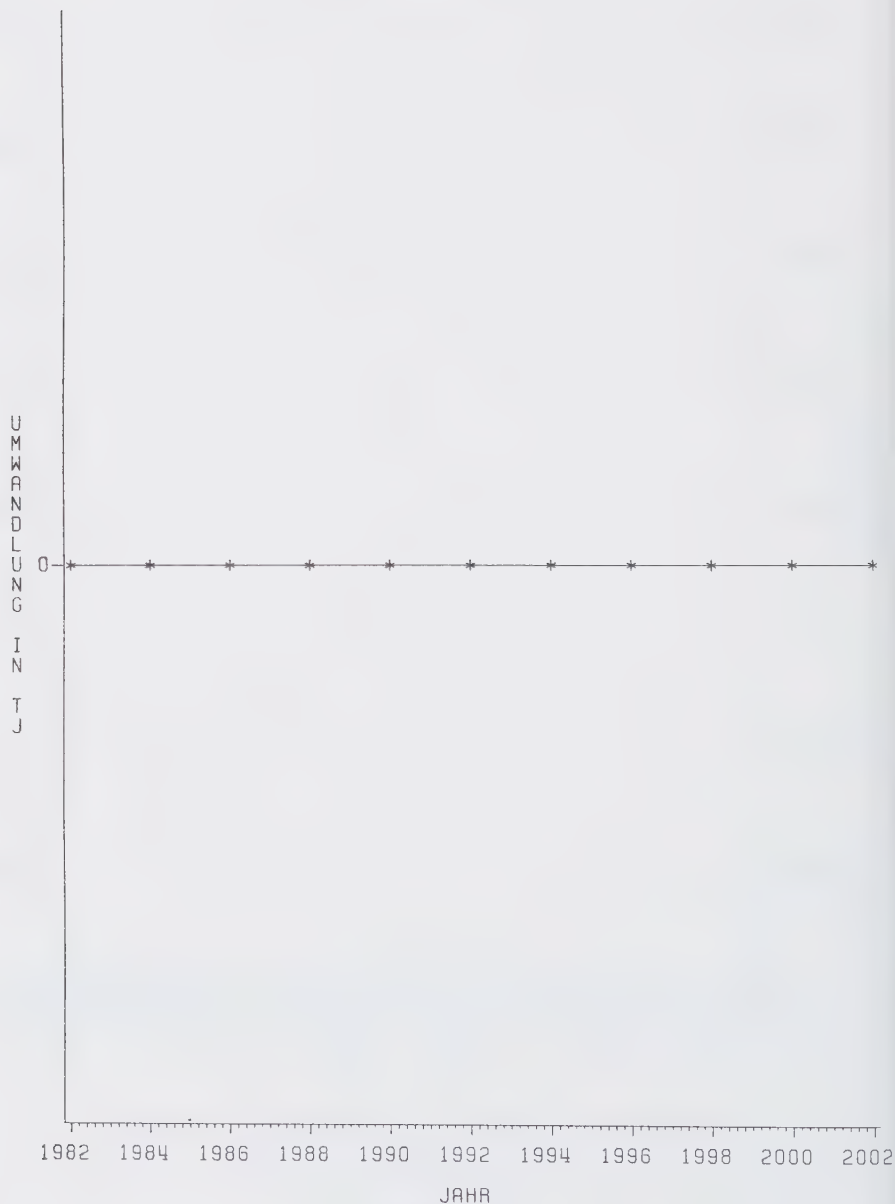
HEIZUNG MIT WAERMEPUMPEN

(HAUSHALT)



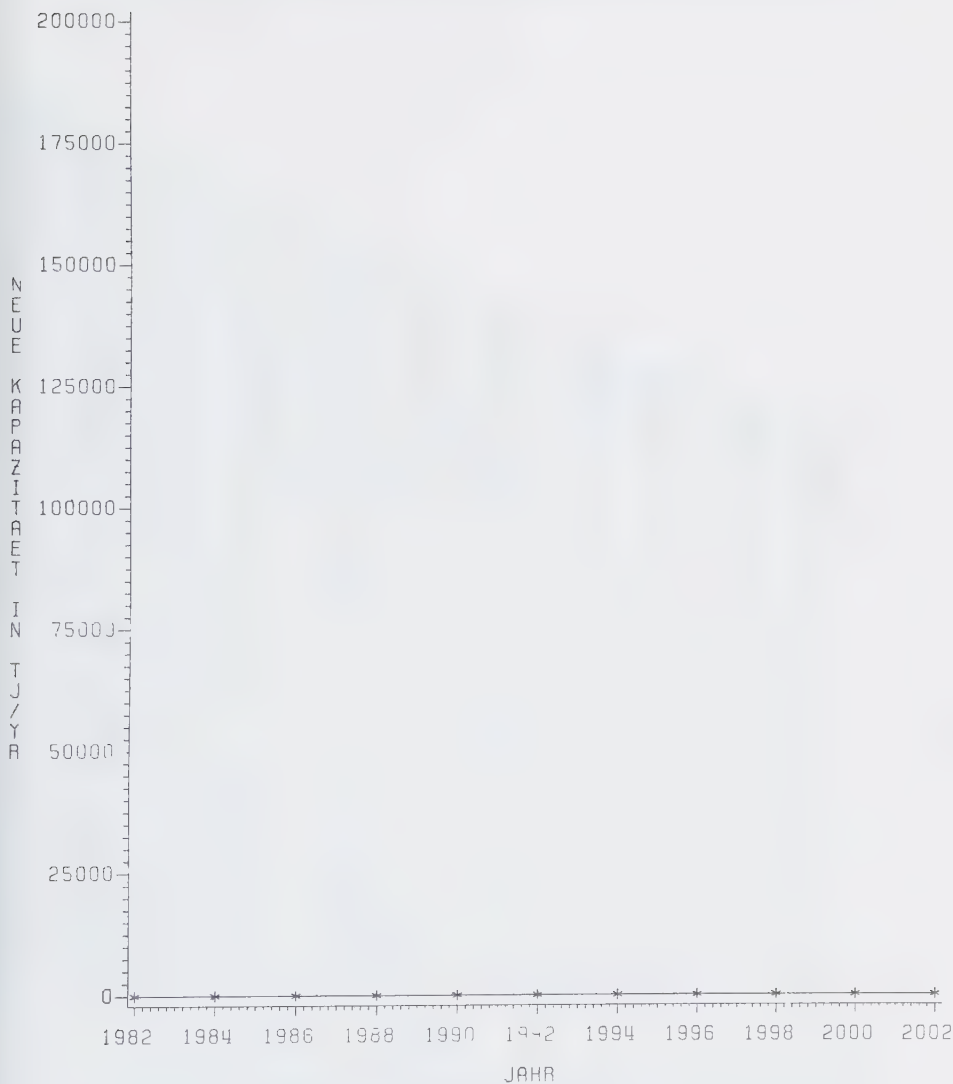
HEIZUNG MIT SONNENKOLLEKTOREN

(HAUSHALT)



NEUE SONNENKOLLEKTOREN

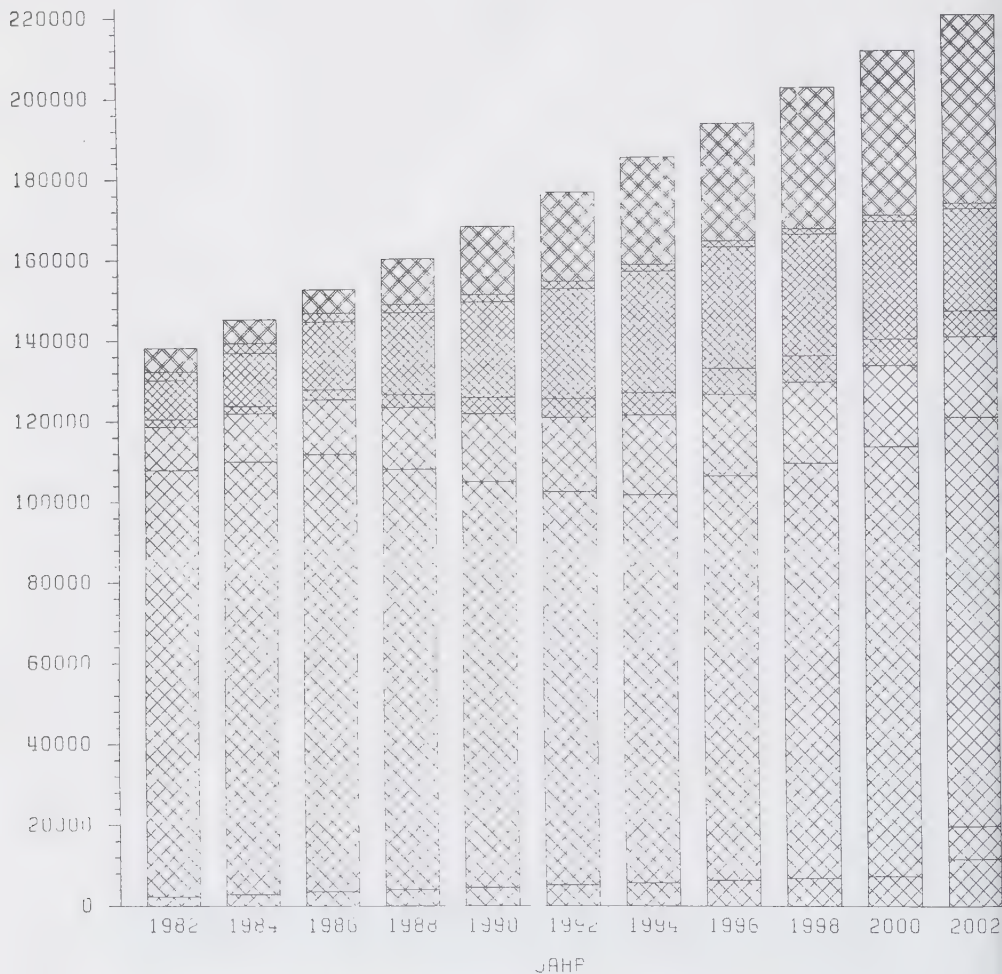
(HAUSHALT)



MODAL SPLIT: WAERME IM HAUSHALT

AUFTEILUNG DER WAERMENACHFRAGE NACH ENDENERGIEN
(WAERMEPUMPE UND ISOLATION SIND SEPARAT DARGESTELLT)

WAERME SUM

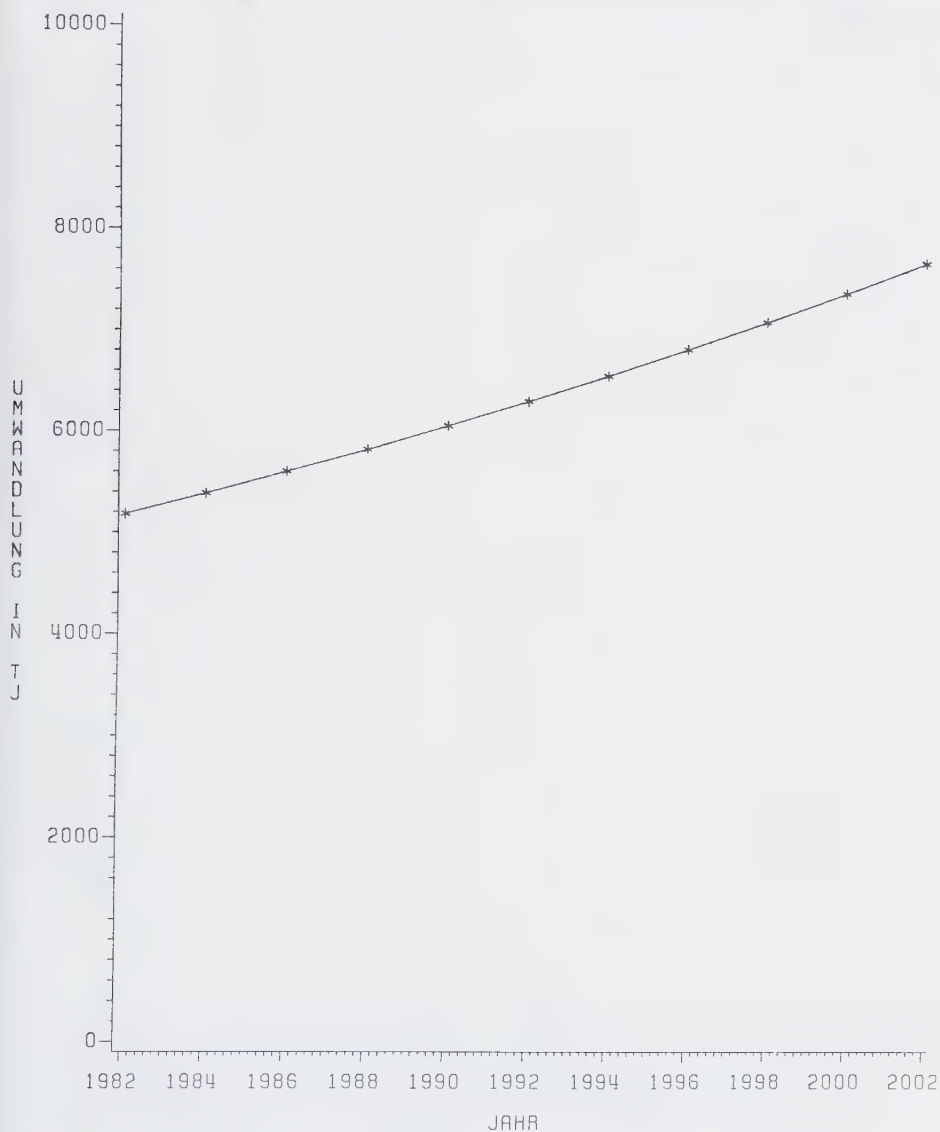


LEGEND: TECH

ELEKTIZITAET
FL. BRENNSTOFF
HOLZ
KOELE
WAERMEPUMPE

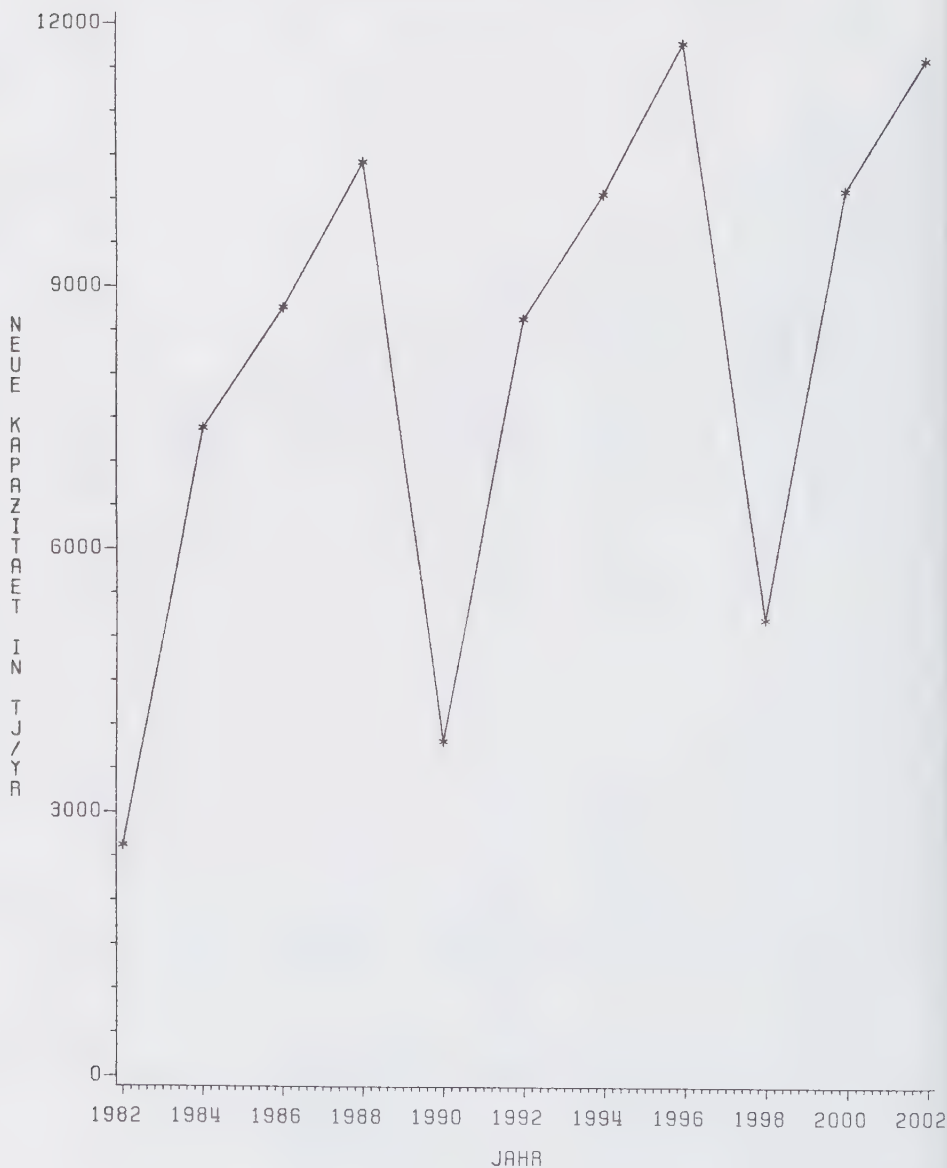
FEHNWAERME
GAS
ISOLATION
SONNENKOLLEKT

MECHANISCHE ARBEIT MIT ELEKTRIZITÄT (HAUSHALT)



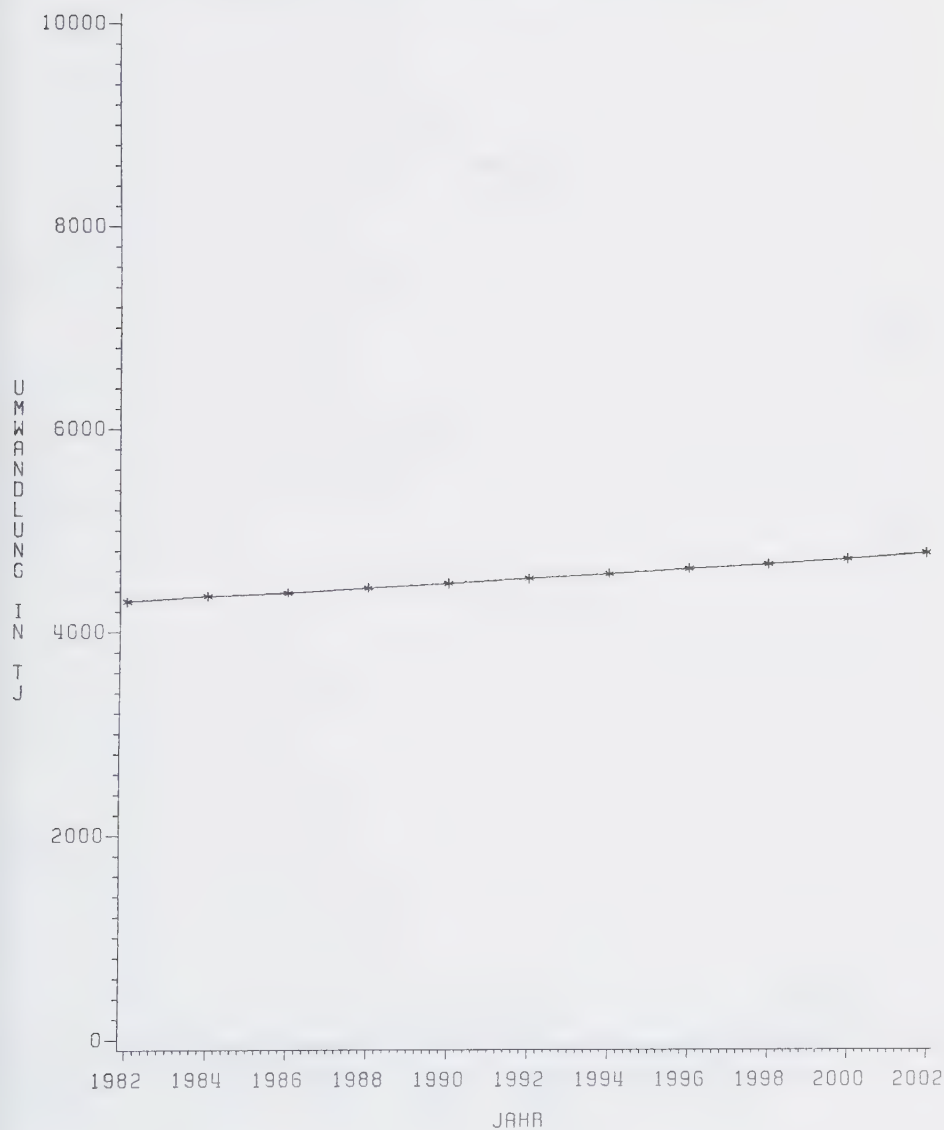
MECHANISCHE ARBEIT MIT ELEKTRIZITÄT

(HAUSHALT)



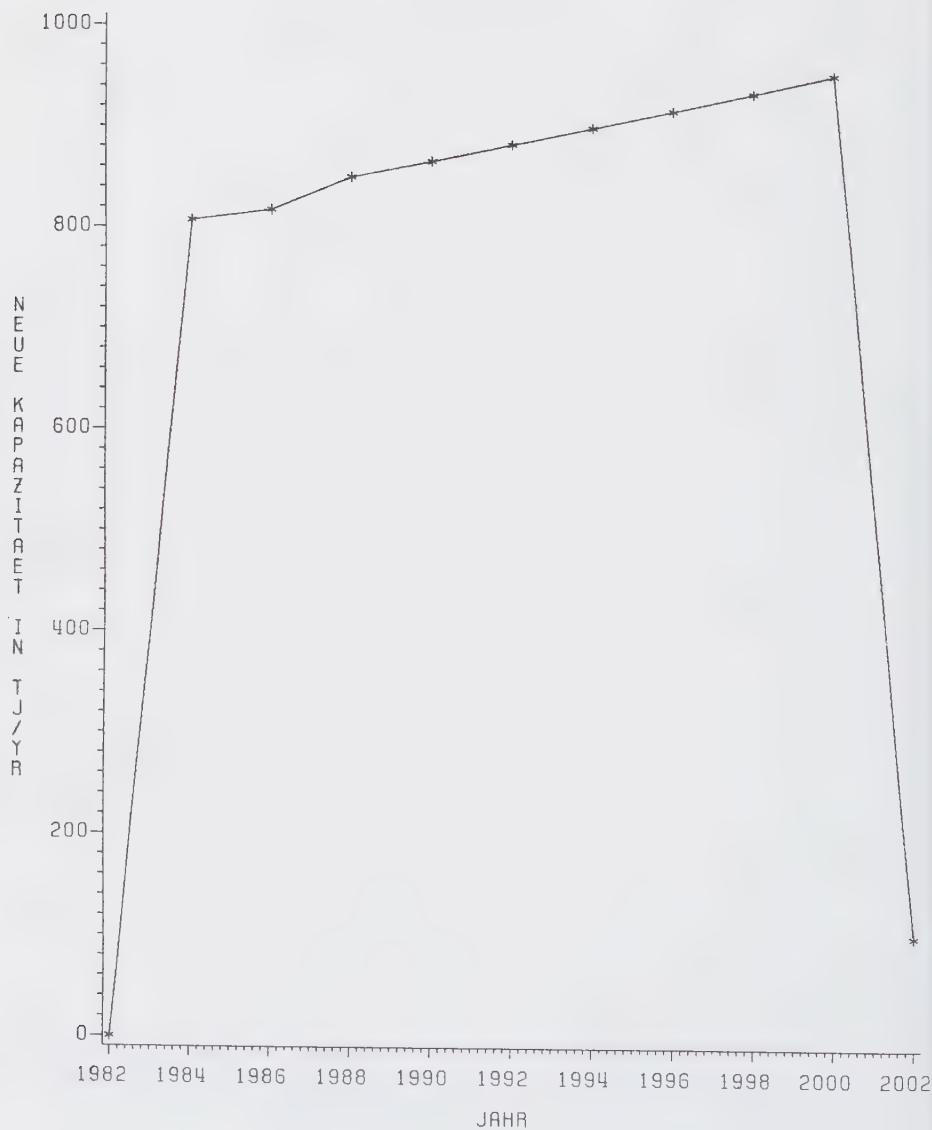
ELEKTRISCHES LICHT

(HAUSHALT)



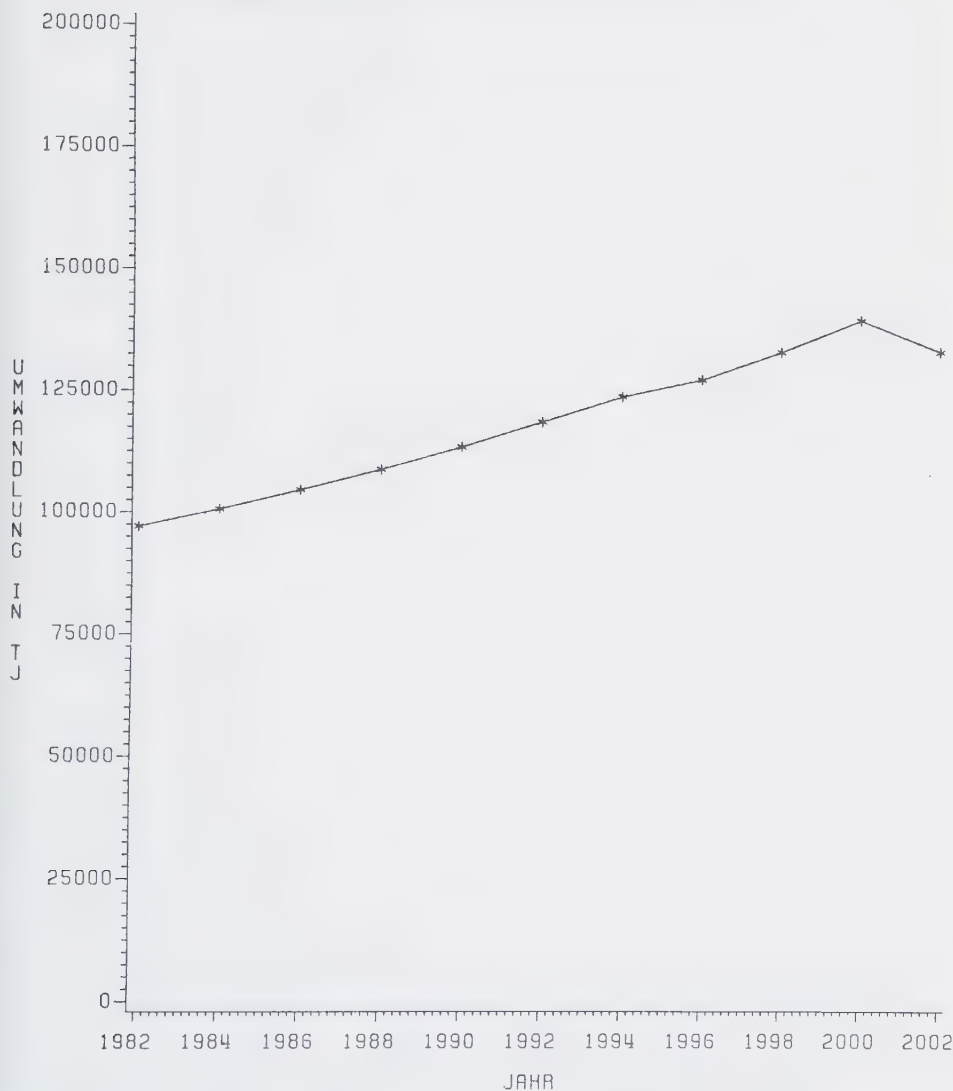
ELEKTRISCHES LICHT

(HAUSHALT)



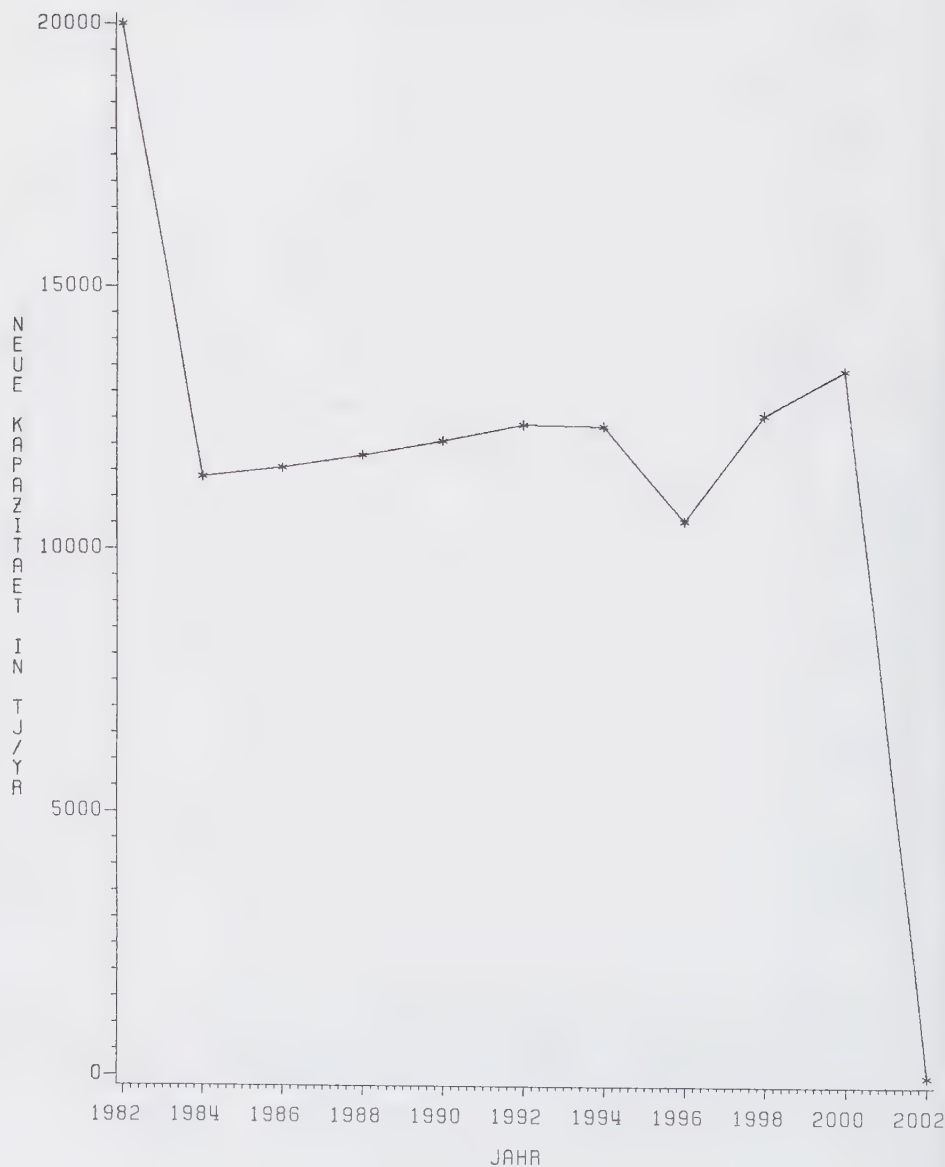
OEL - HEIZUNG

(GEWERBE - LANDWIRTSCHAFT - DIENSTLEISTUNG)



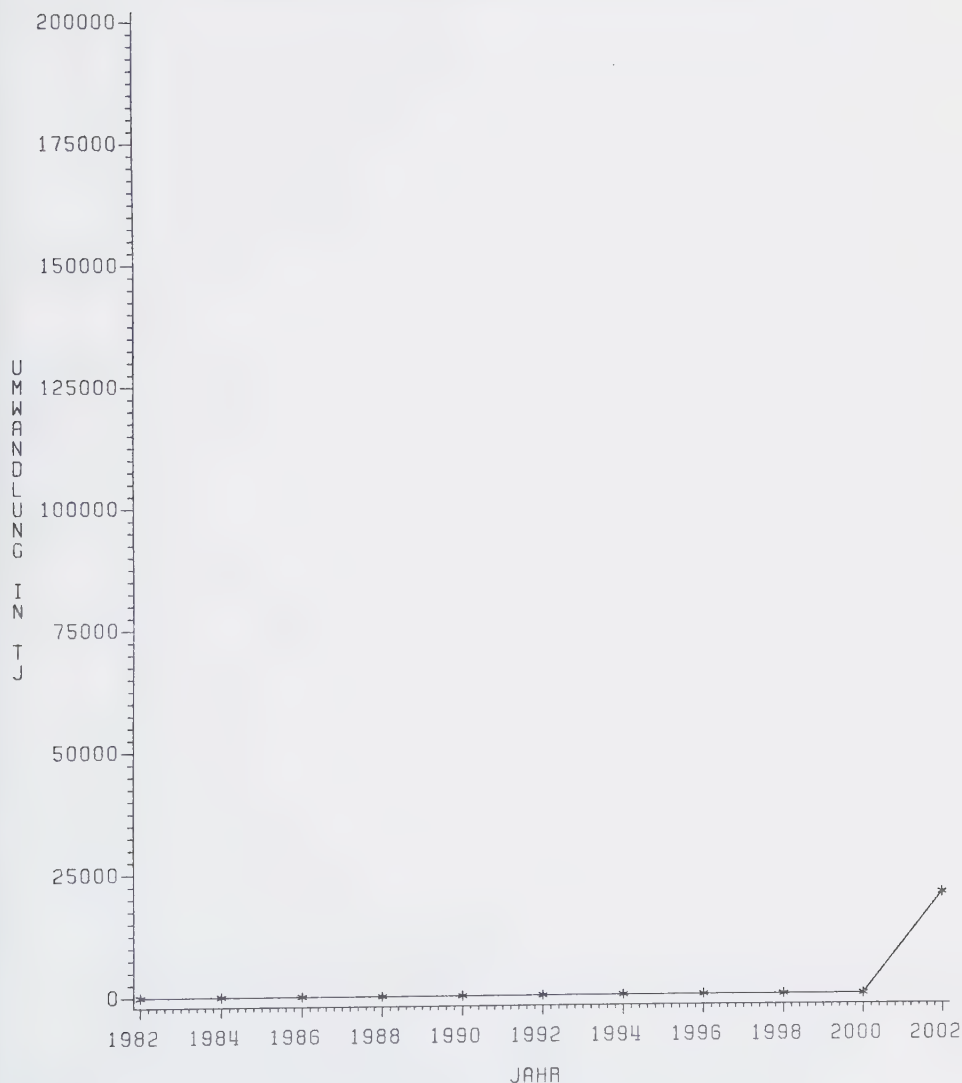
OEL - HEIZUNG

(GEWERBE - LANDWIRTSCHAFT - DIENSTLEISTUNG)



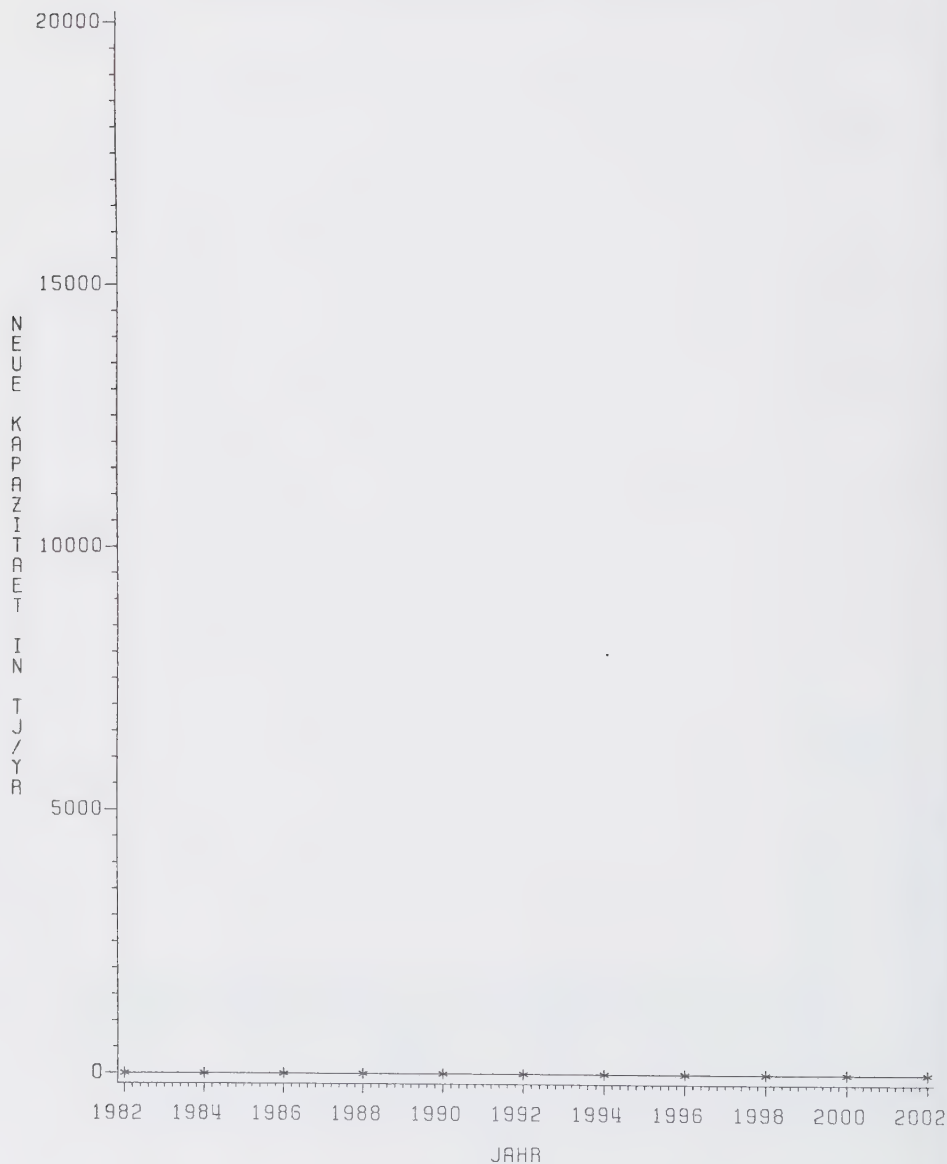
ELEKTRISCHE HEIZUNG

(GEWERBE – LANDWIRTSCHAFT – DIENSTLEISTUNG)



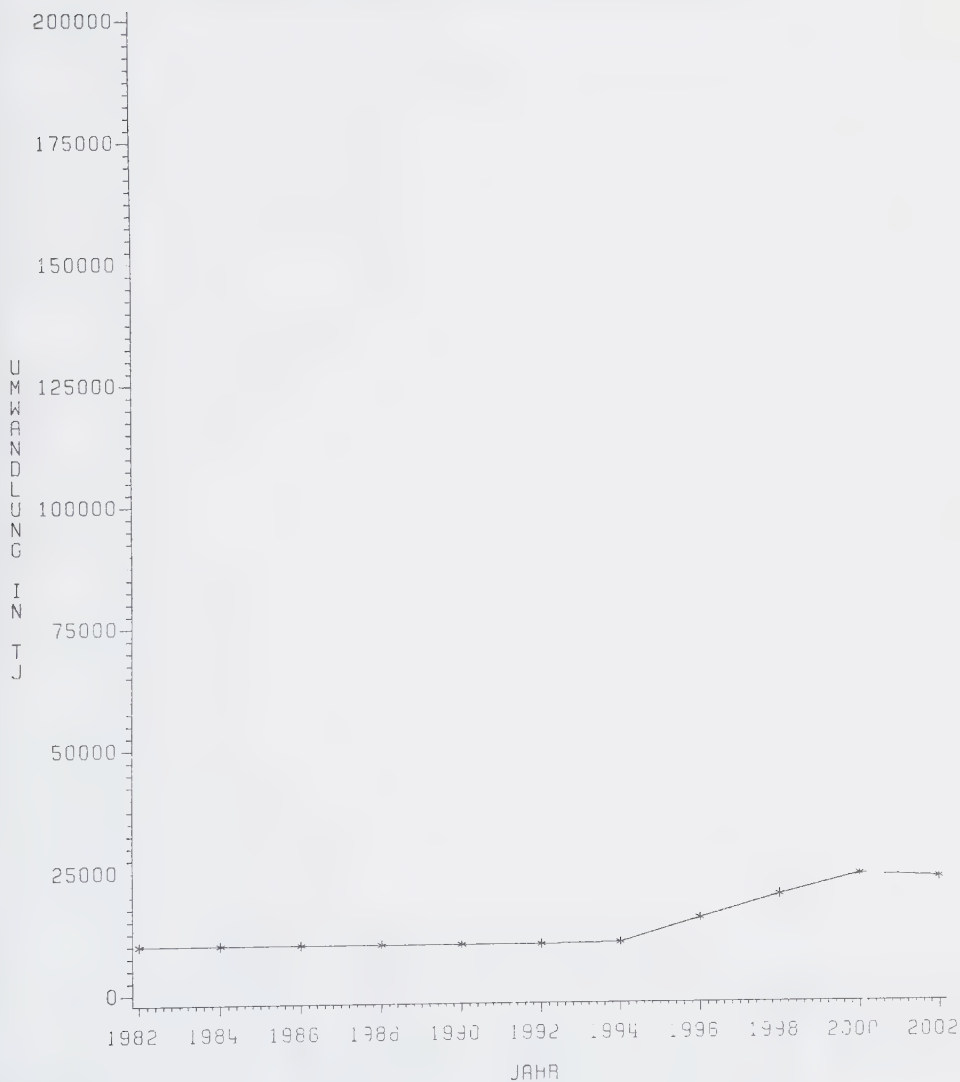
ELEKTRISCHE HEIZUNG

(GEWERBE - LANDWIRTSCHAFT - DIENSTLEISTUNG)



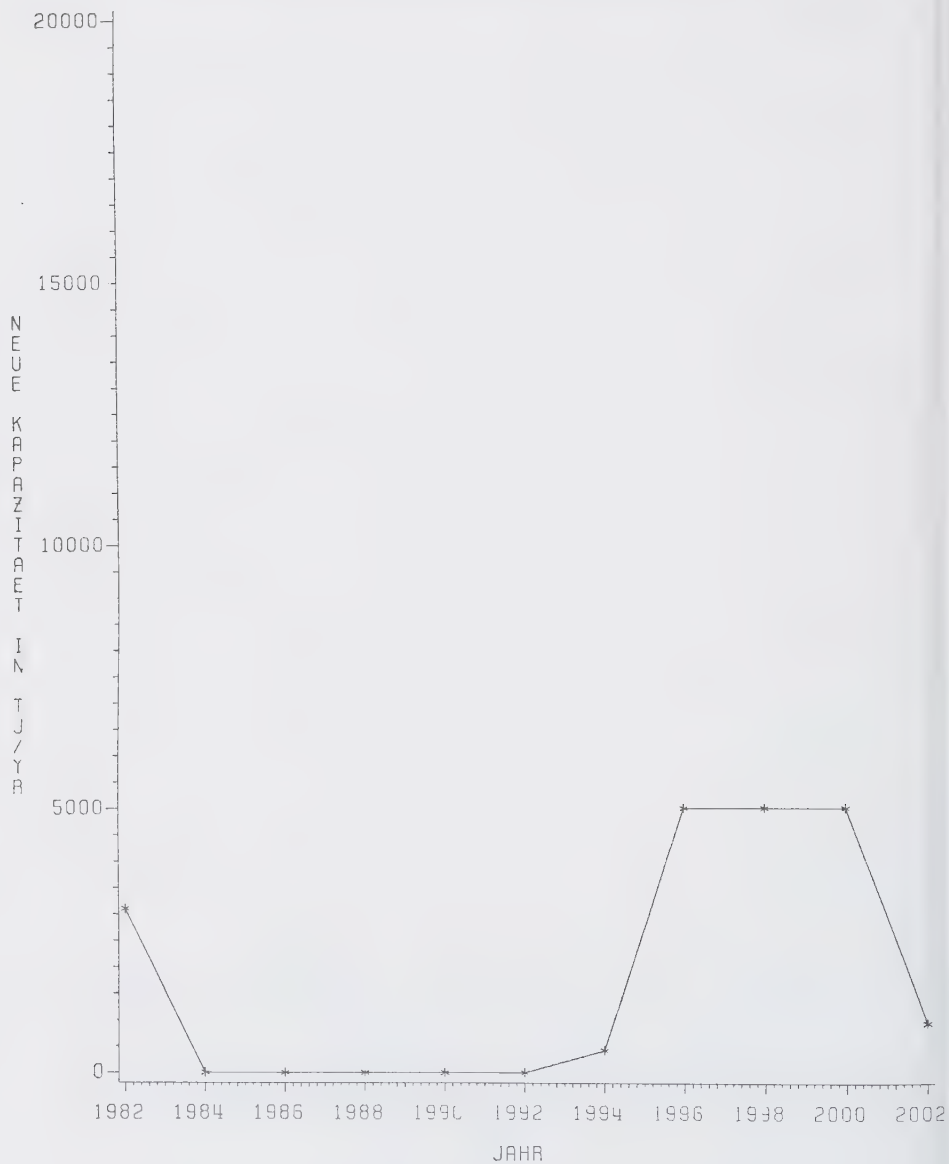
GAS - HEIZUNG

(GEWERBE - LANDWIRTSCHAFT - DIENSTLEISTUNG)



GAS - HEIZUNG

(GEWERBE - LANDWIRTSCHAFT - DIENSTLEISTUNG)



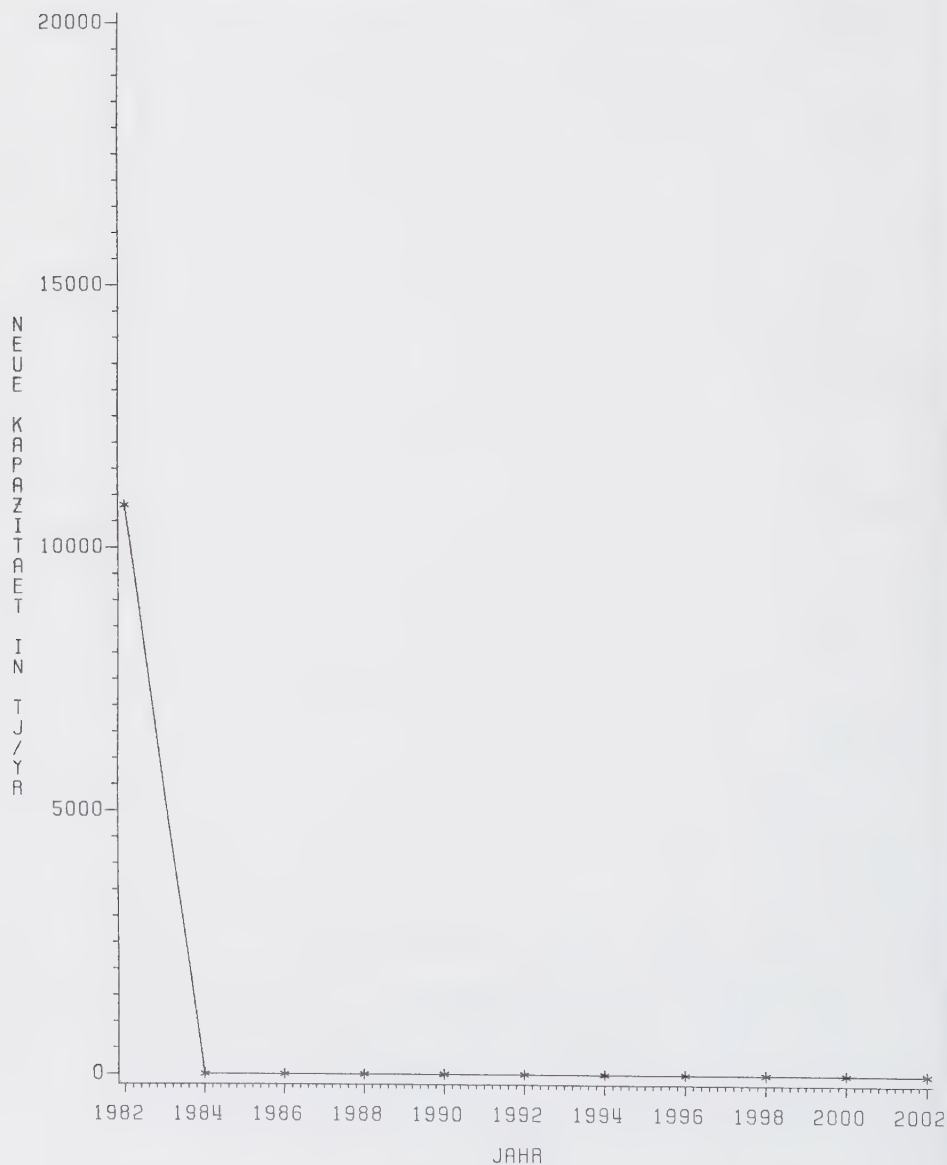
KOHLE – HEIZUNG

(GEWERBE – LANDWIRTSCHAFT – DIENSTLEISTUNG)



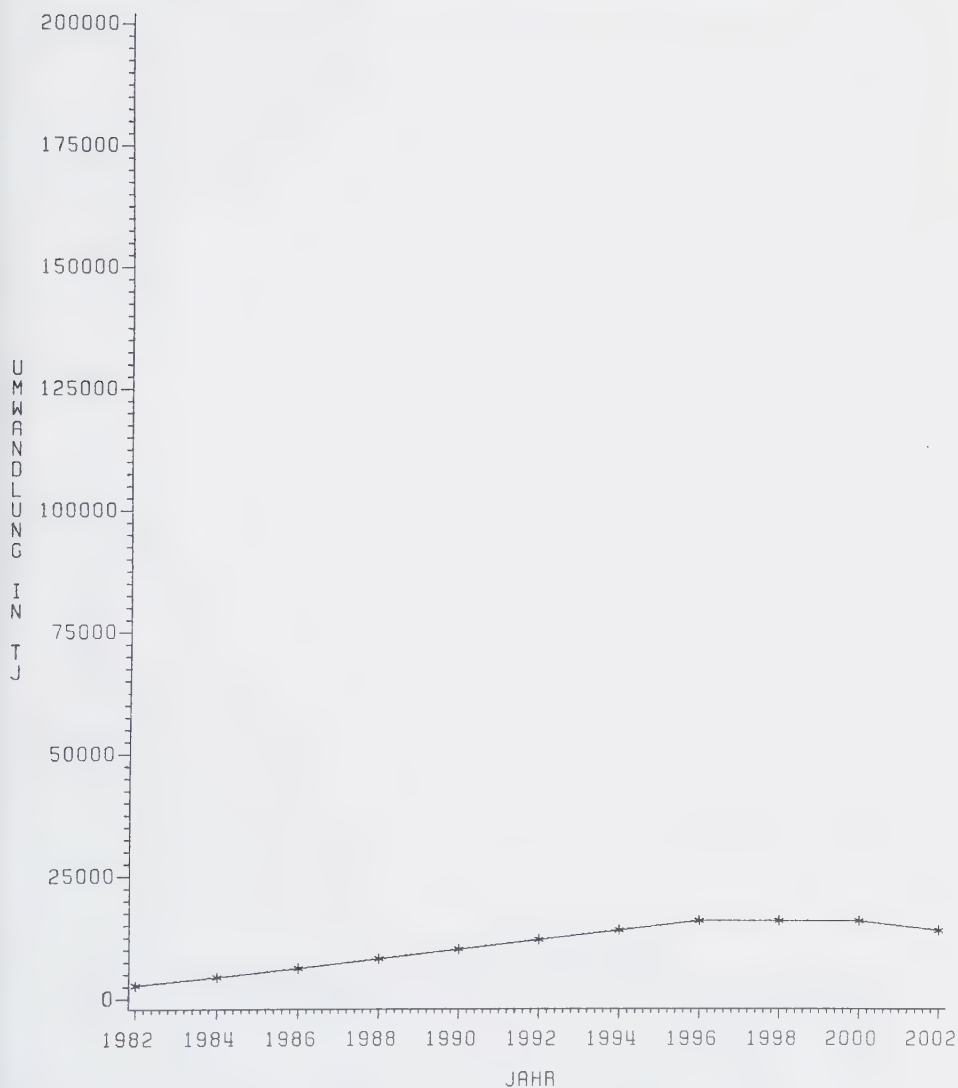
KOHLE - HEIZUNG

(GEWERBE - LANDWIRTSCHAFT - DIENSTLEISTUNG)



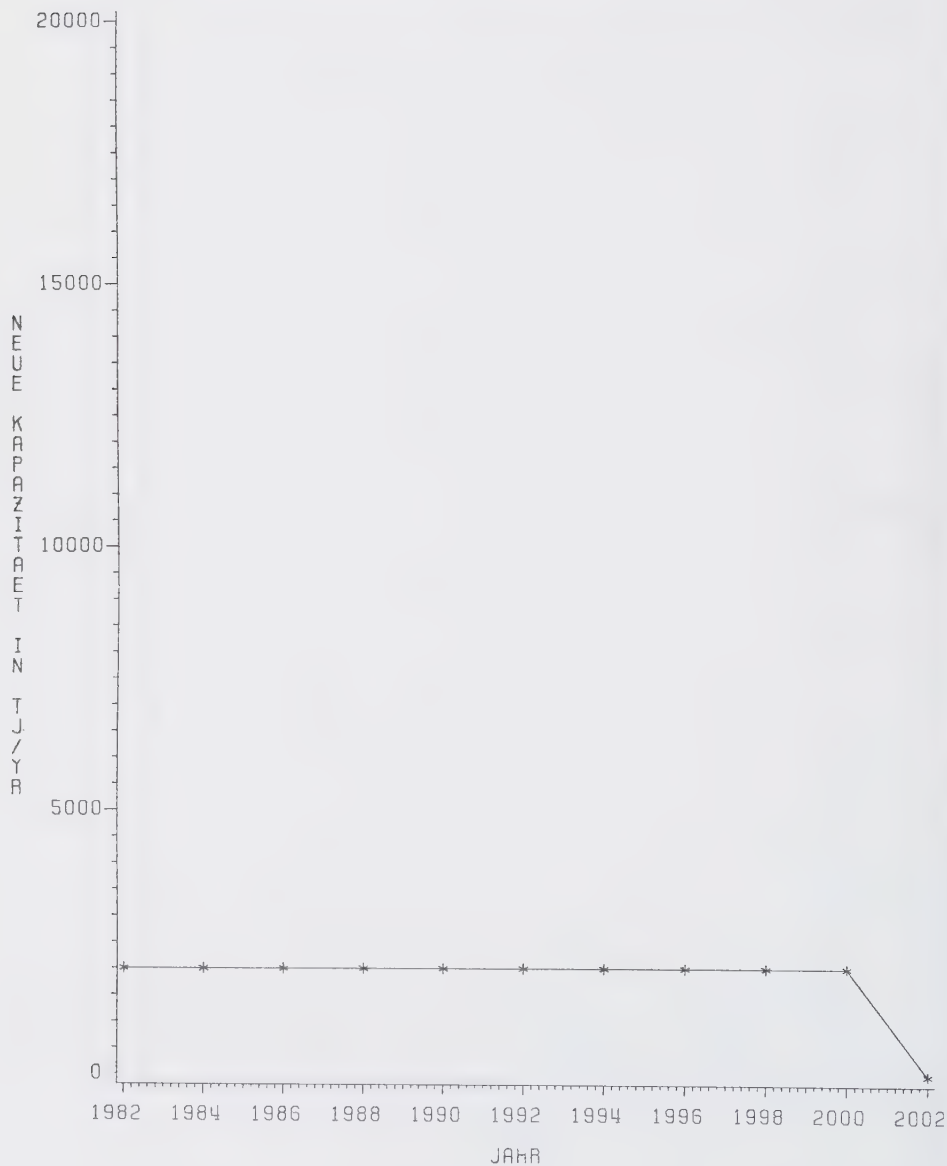
HOLZ - HEIZUNG

(GEWERBE - LANDWIRTSCHAFT - DIENSTLEISTUNG)



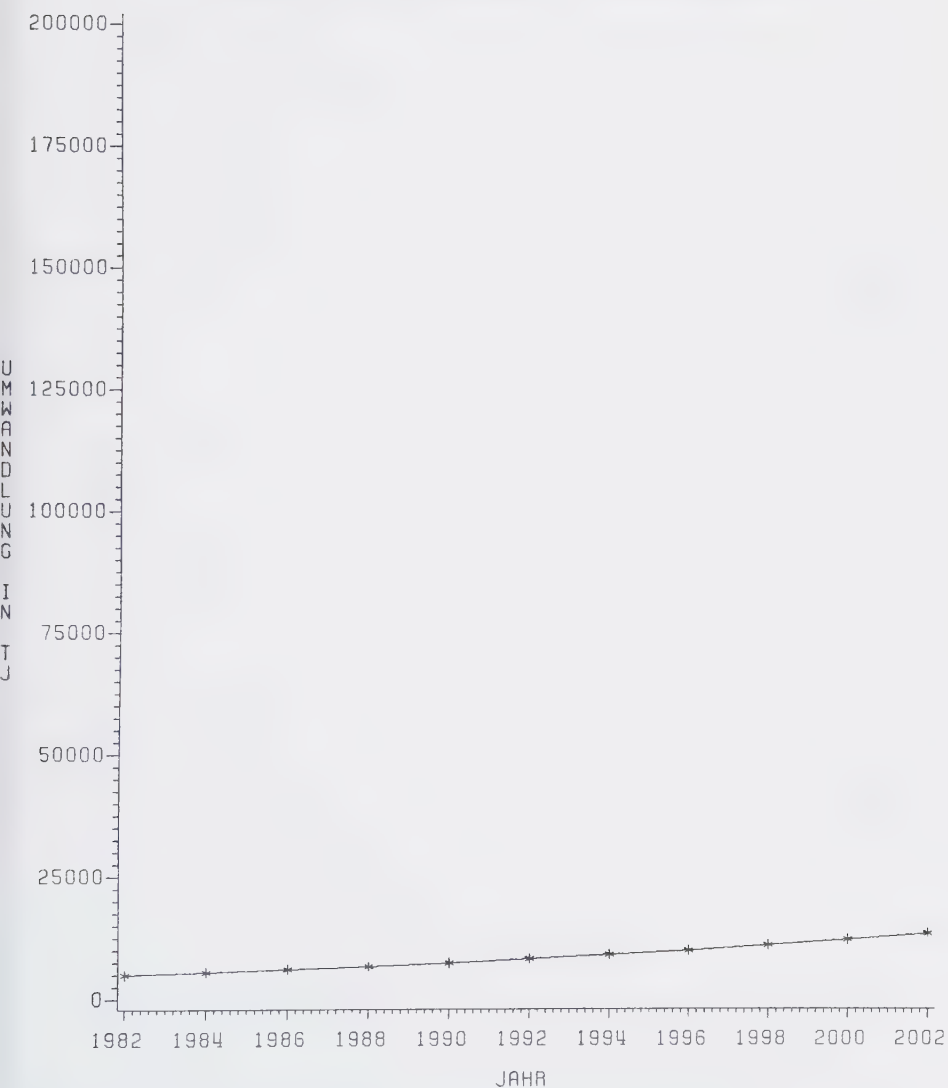
HOLZ - HEIZUNG

(GEWERBE - LANDWIRTSCHAFT - DIENSTLEISTUNG)



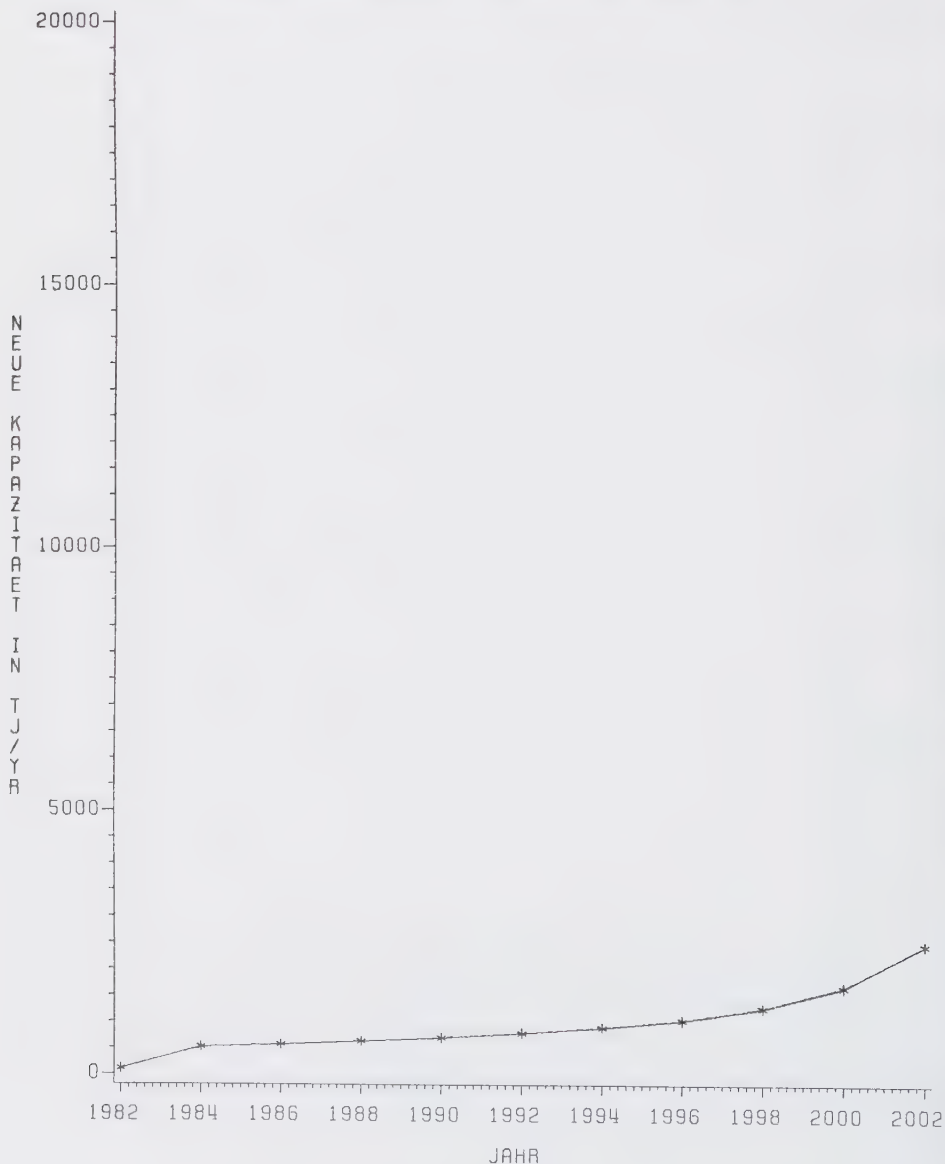
HEIZUNG MIT FERNWAERME

(GEWERBE - LANDWIRTSCHAFT - DIENSTLEISTUNG)



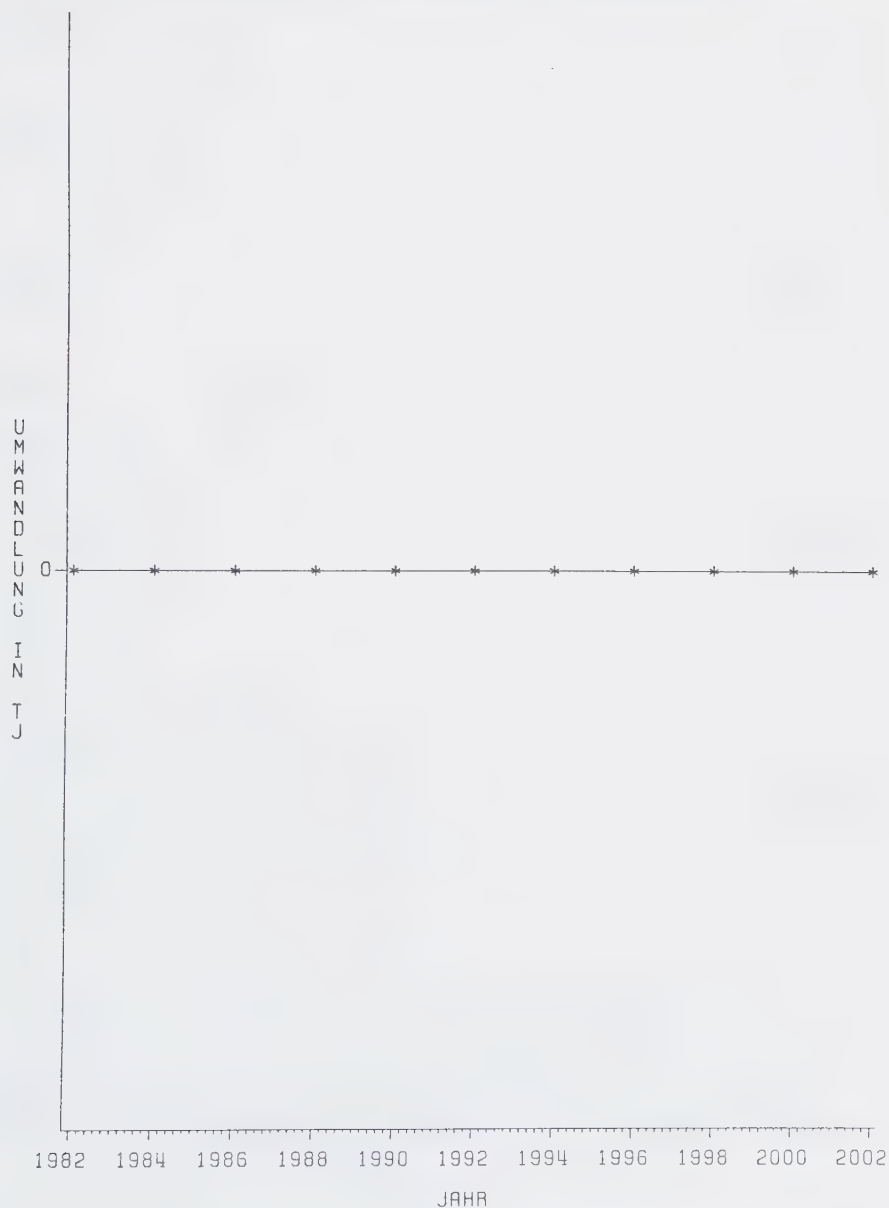
HEIZUNG MIT FERNWAERME

(GEWERBE - LANDWIRTSCHAFT - DIENSTLEISTUNG)



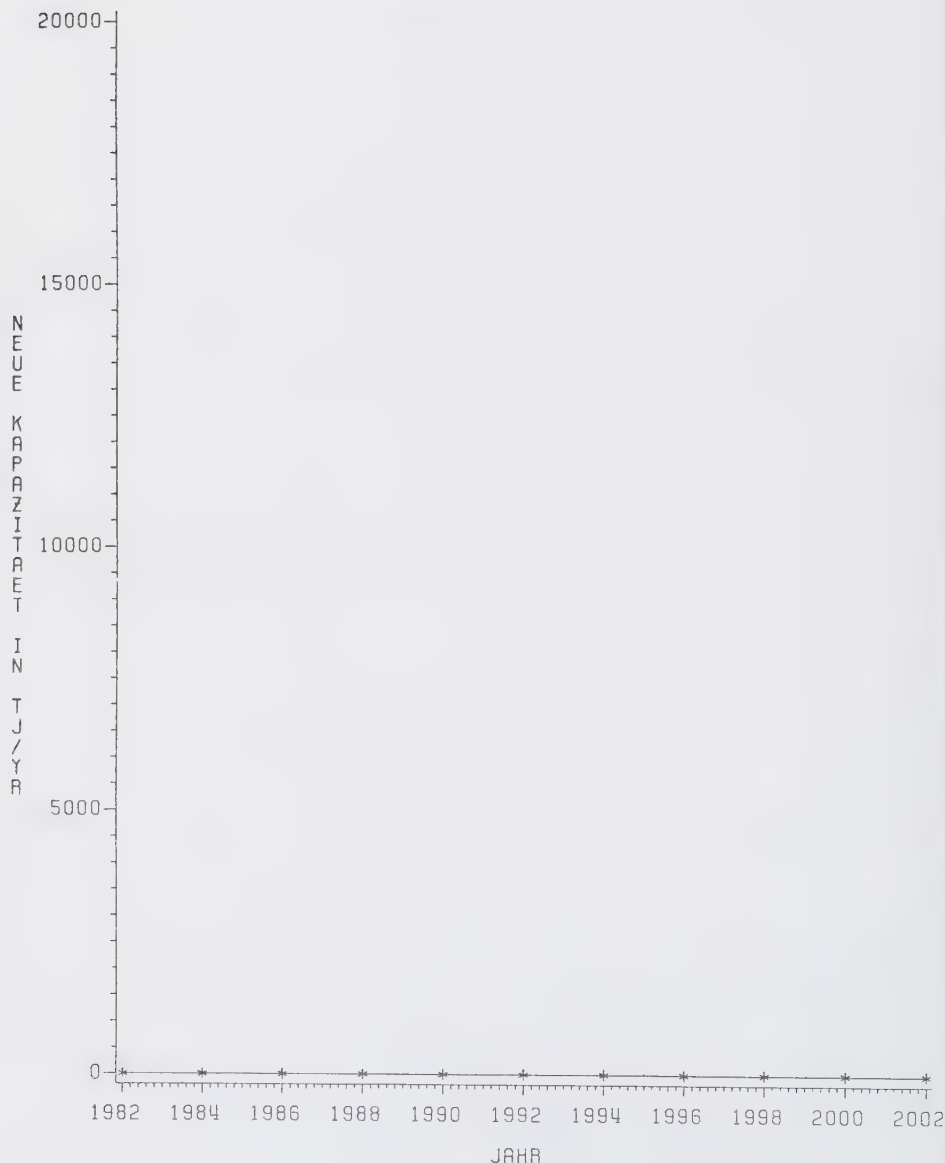
HEIZUNG MIT SONNENKOLLEKTOREN

(GEWERBE - LANDWIRTSCHAFT - DIENSTLEISTUNG)



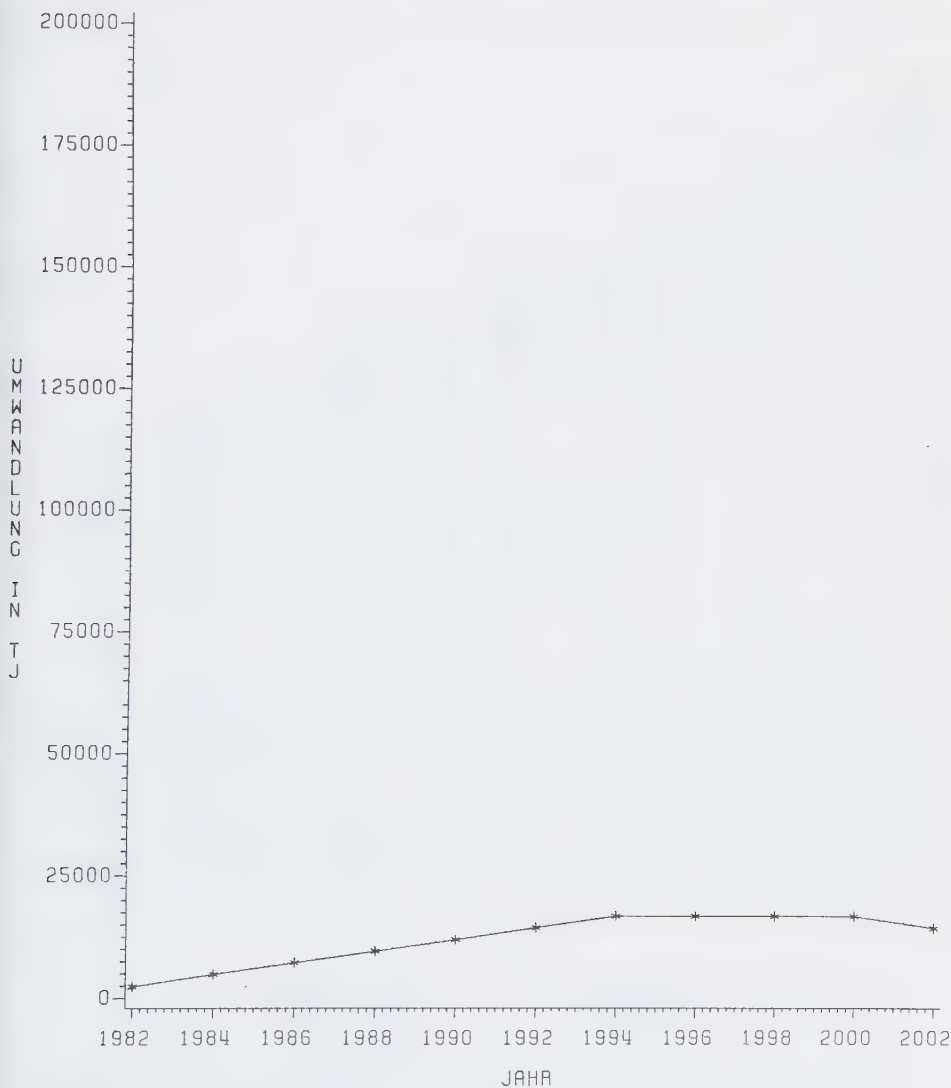
HEIZUNG MIT SONNENKOLLEKTOREN

(GEWERBE - LANDWIRTSCHAFT - DIENSTLEISTUNG)



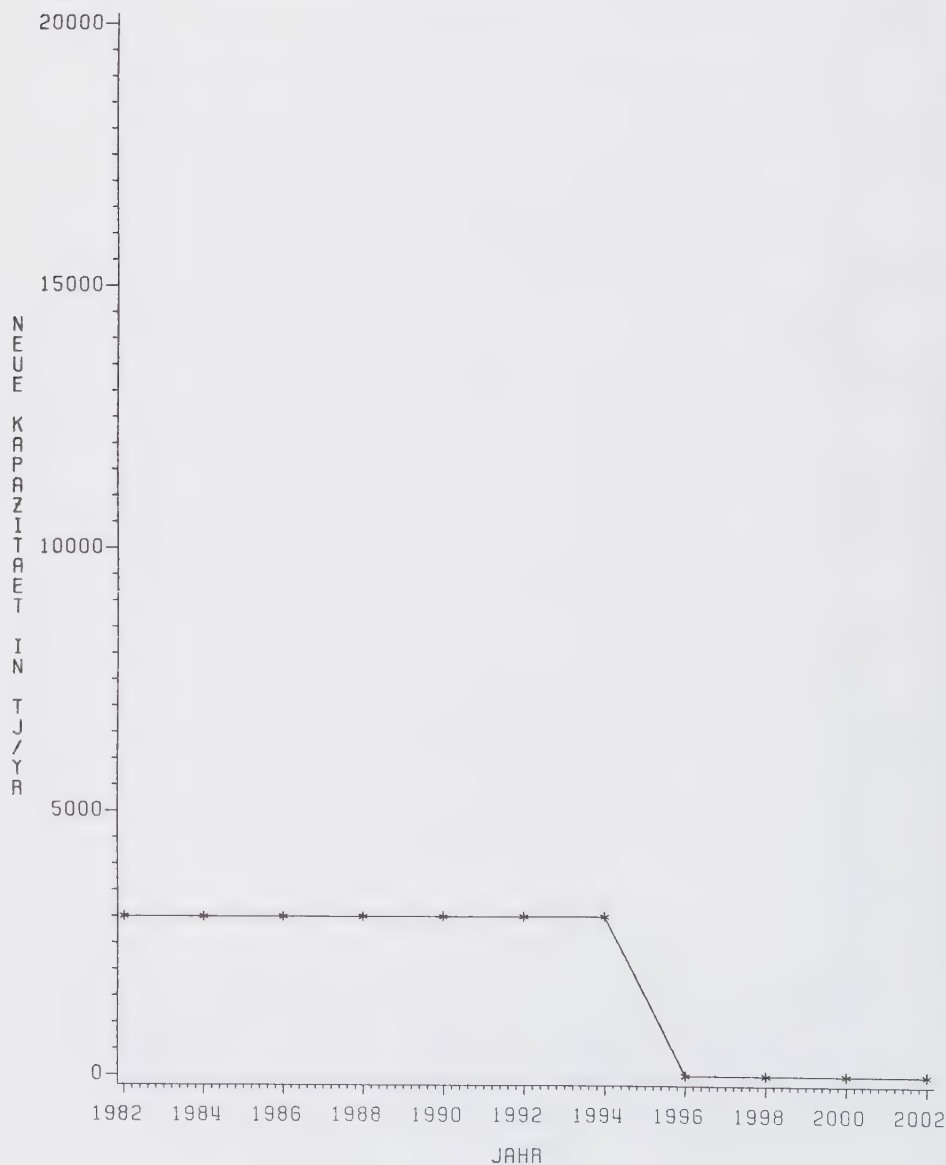
WAERME – KRAFT – KOPPLUNG

(GEWERBE – LANDWIRTSCHAFT – DIENSTLEISTUNG)



WAERME - KRAFT - KOPPLUNG

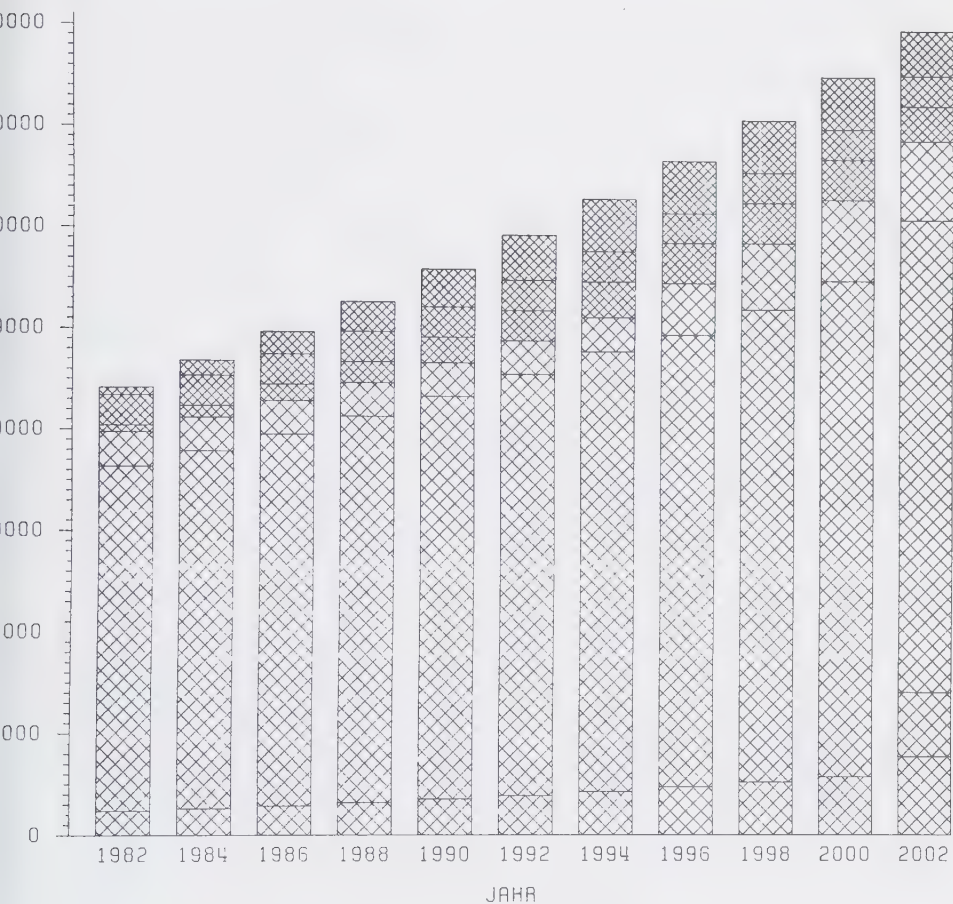
(GEWERBE - LANDWIRTSCHAFT - DIENSTLEISTUNG)



MODAL SPLIT: WAERME IN G - L - D

AUFTEILUNG DER WAERMENACHFRAGE NACH ENDENERGIEN
(WAERME - KRAFT - KÖPPLUNG IST SEPARAT DARGESTELLT)

ERME SUM



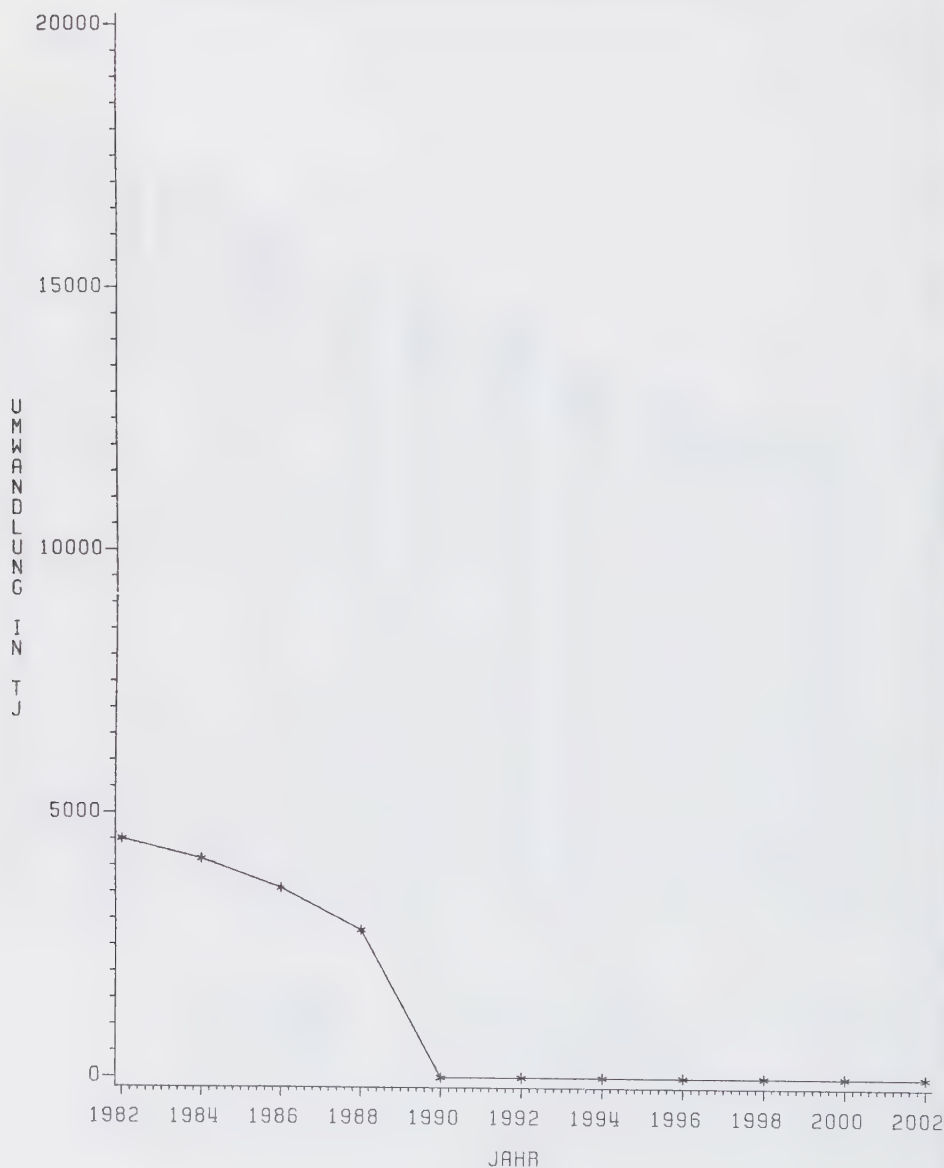
LEGEND: TECH

ELEKTRIZITÄT
FL. BRENNSTOFF
HOLZ
SONNENKOLLEKT

FERNWAERME
GAS
KOHLE
W - K - K

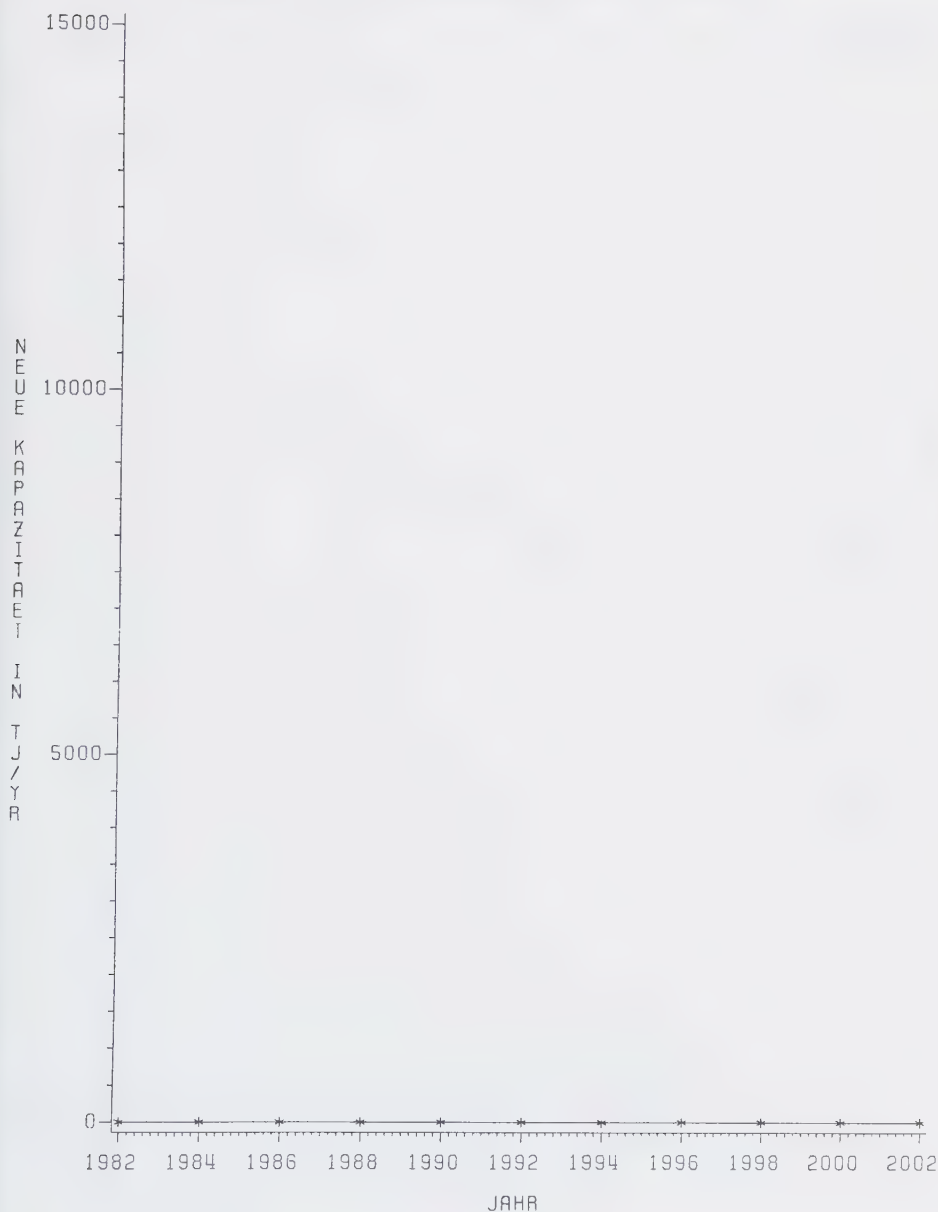
MECHANISCHE ARBEIT MIT FL. TREIBSTOFF

(GEWERBE - LANDWIRTSCHAFT - DIENSTLEISTUNG)



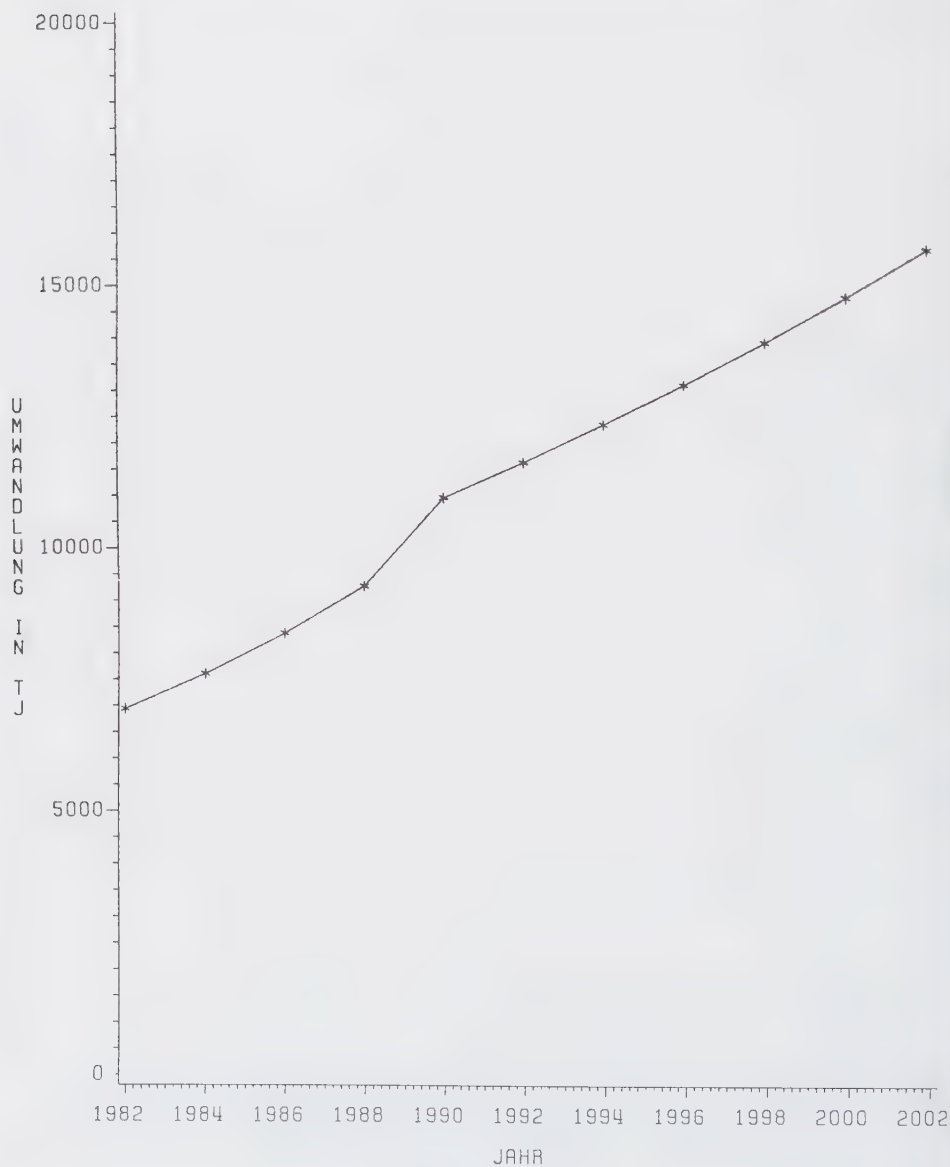
MECHANISCHE ARBEIT MIT FL. TREIBSTOFF

(GEWERBE - LANDWIRTSCHAFT - DIENSTLEISTUNG)



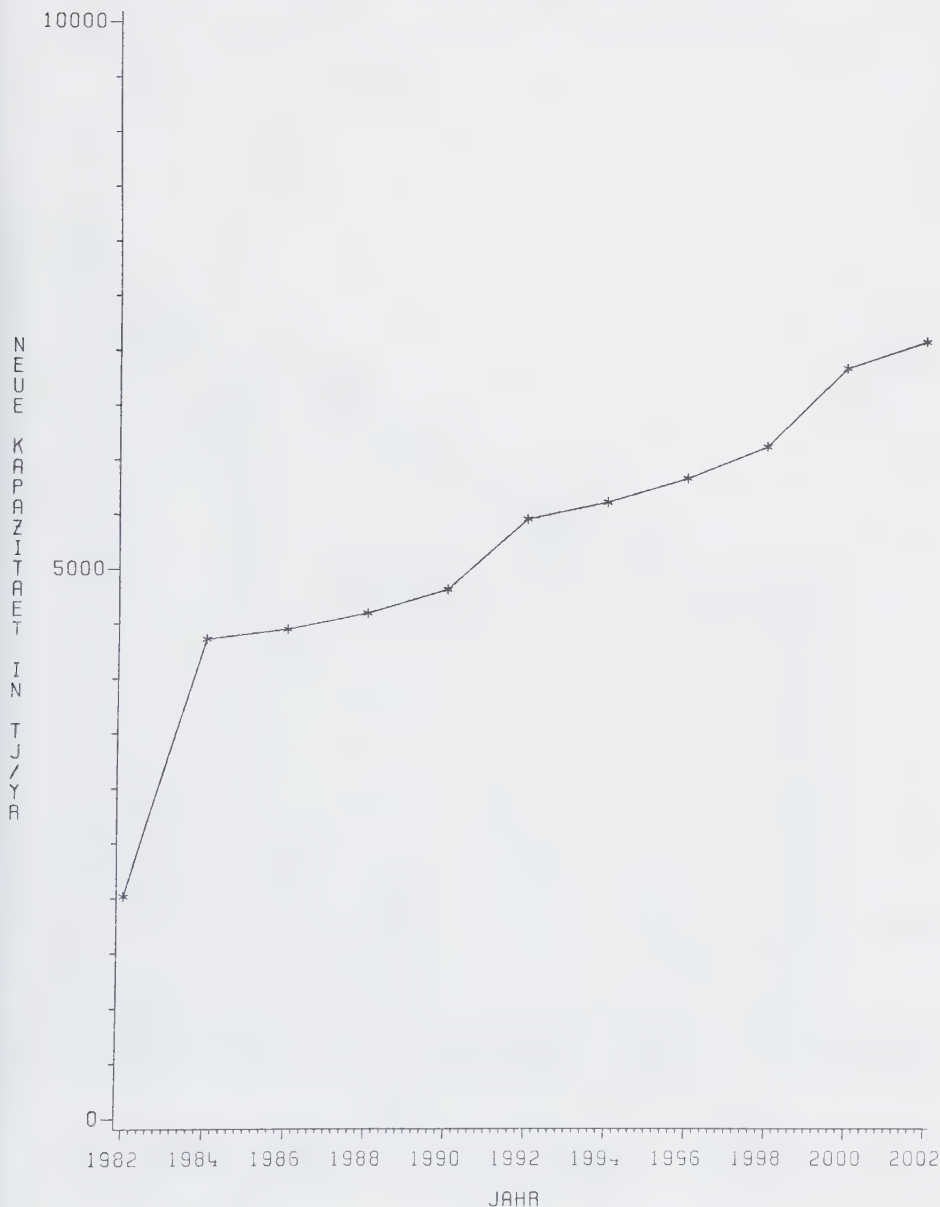
MECHANISCHE ARBEIT MIT ELEKTRIZITÄT

(GEWERBE - LANDWIRTSCHAFT - DIENSTLEISTUNG)



MECHANISCHE ARBEIT MIT ELEKTRIZITÄT

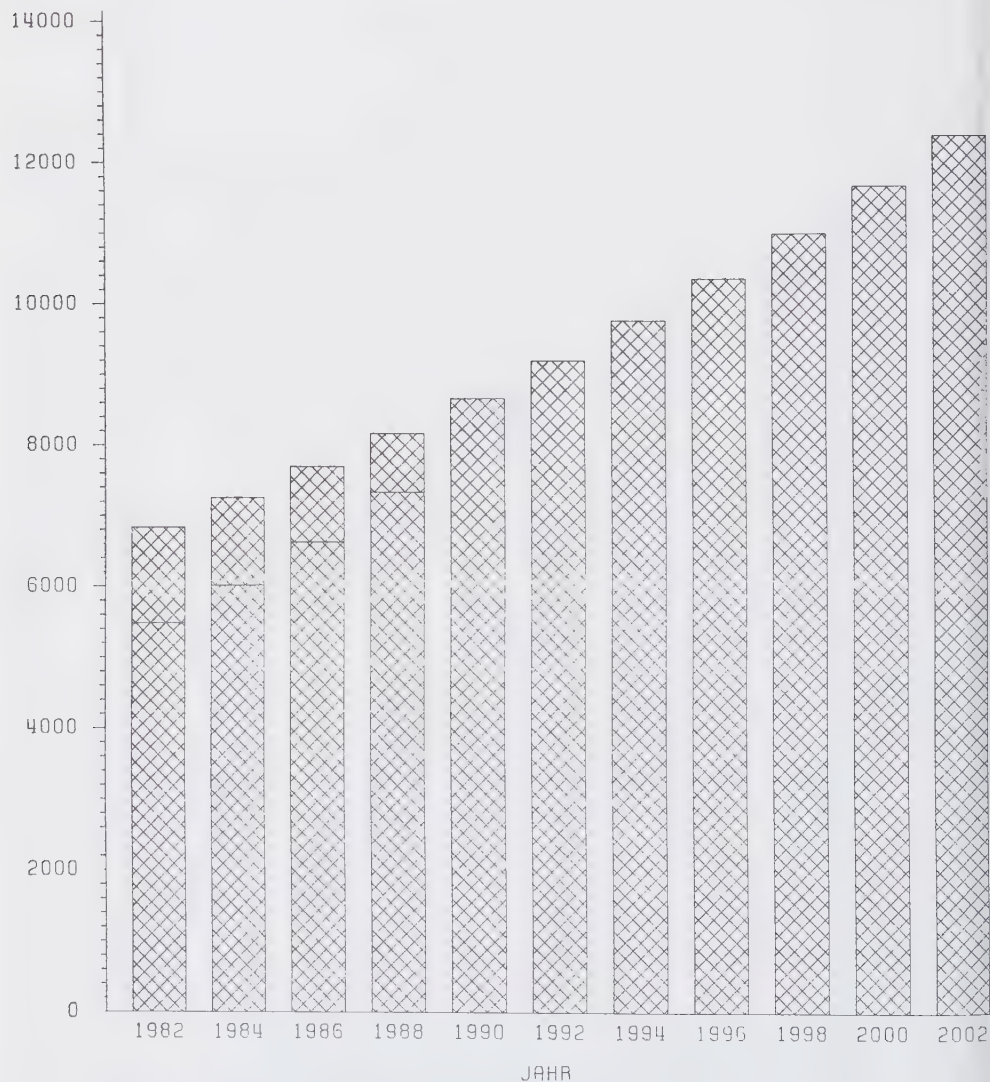
(GEWERBE - LANDWIRTSCHAFT - DIENSTLEISTUNG)



MODAL SPLIT: MECHANISCHE ARBEIT IN G - L - I

AUFTEILUNG DER MECH. ARBEIT NACH ENDENERGIEN

ARBEIT SUM



LEGEND: TECH



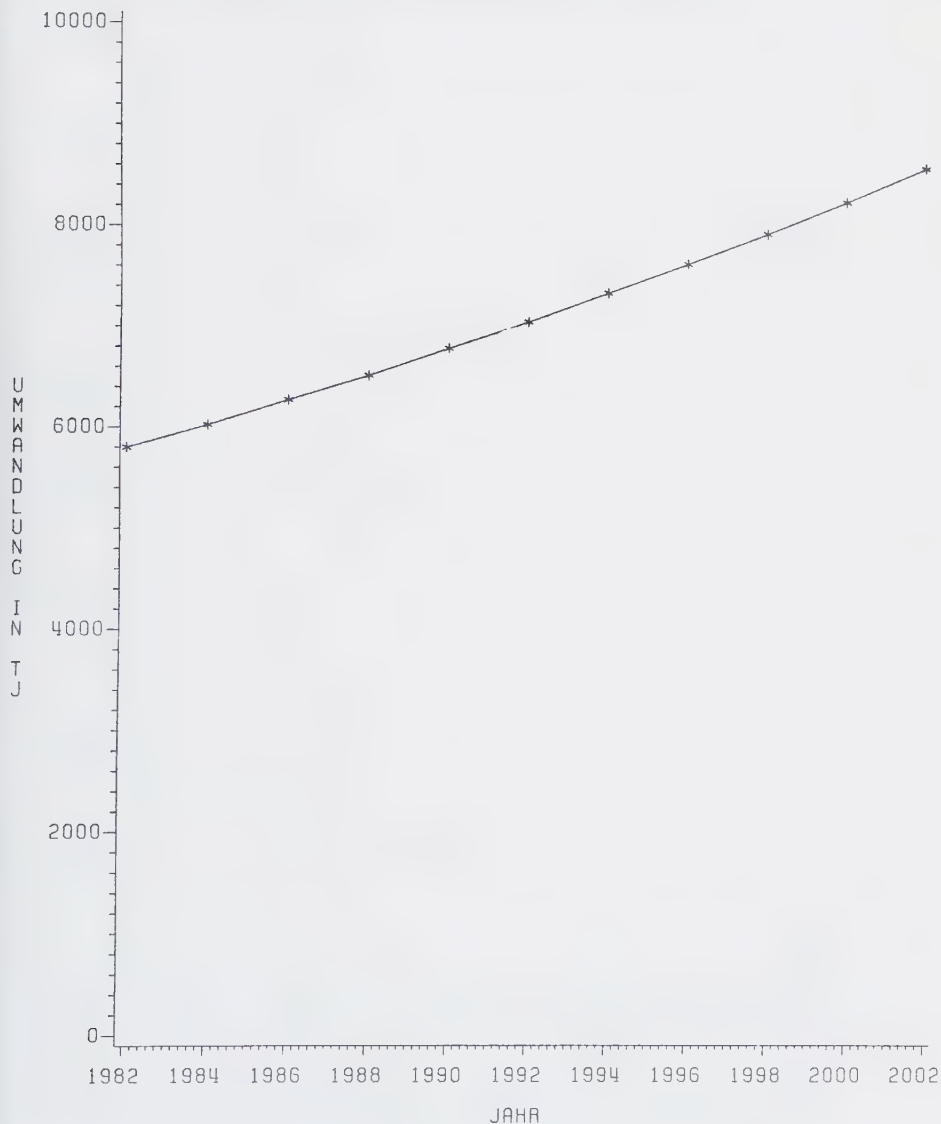
ELEKTIZITÄT



FL TREIBSTOFF

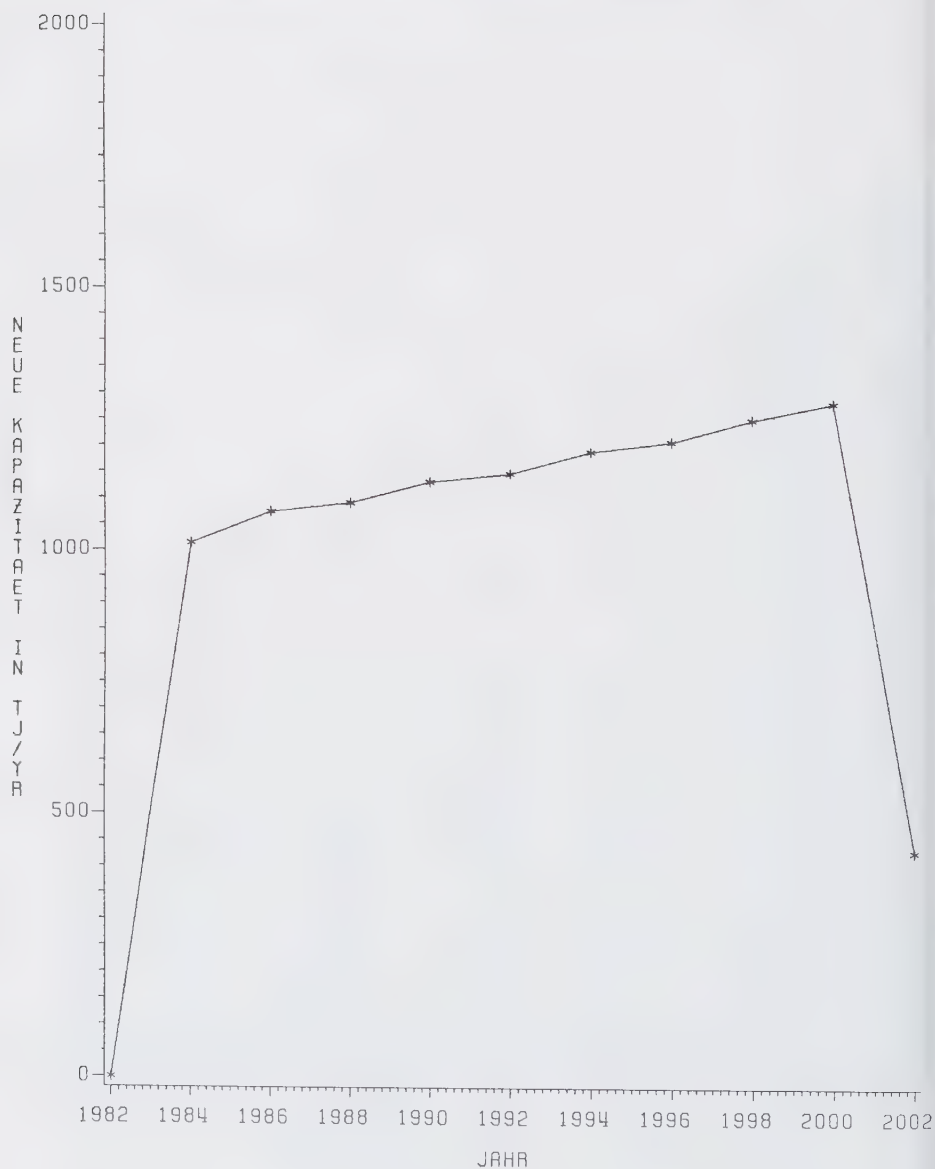
ELEKTRISCHES LICHT

(GEWERBE – LANDWIRTSCHAFT – DIENSTLEISTUNG)



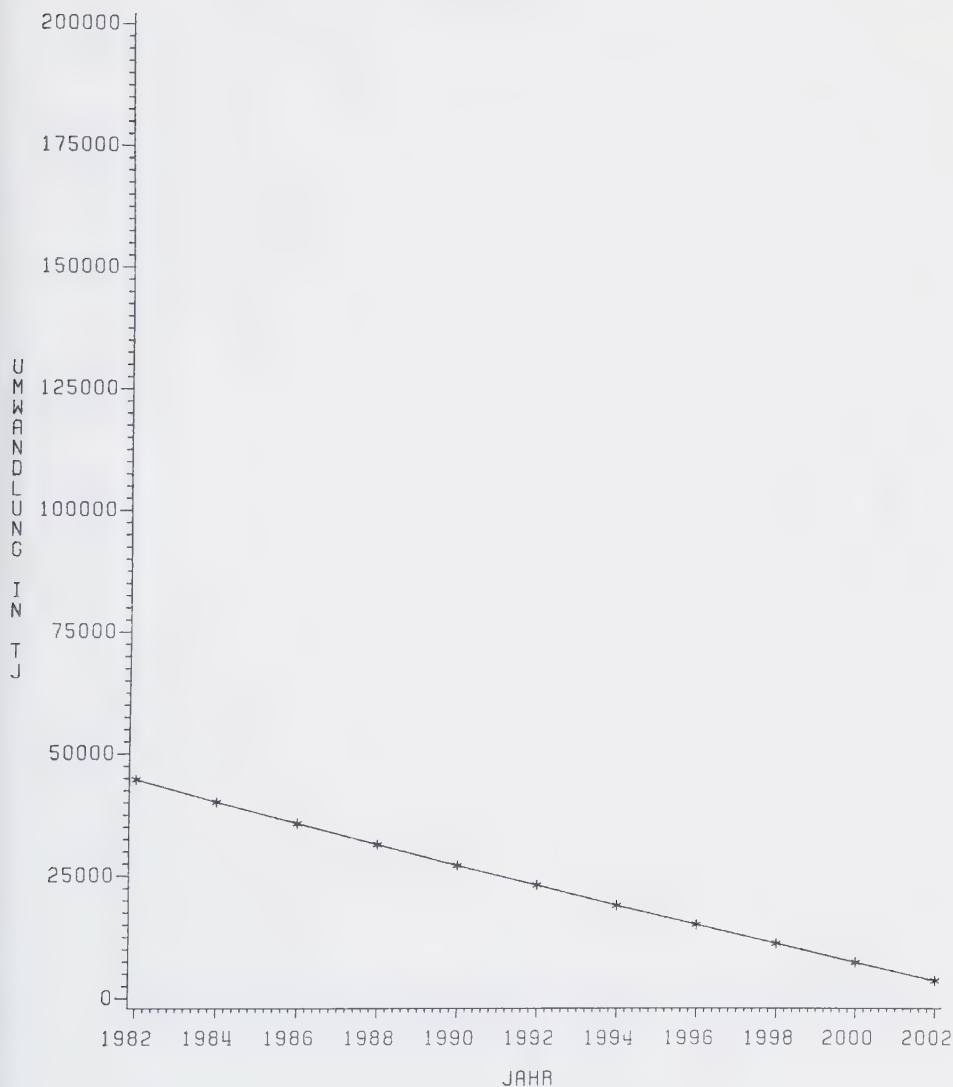
ELEKTRISCHES LICHT

(GEWERBE – LANDWIRTSCHAFT – DIENSTLEISTUNG)



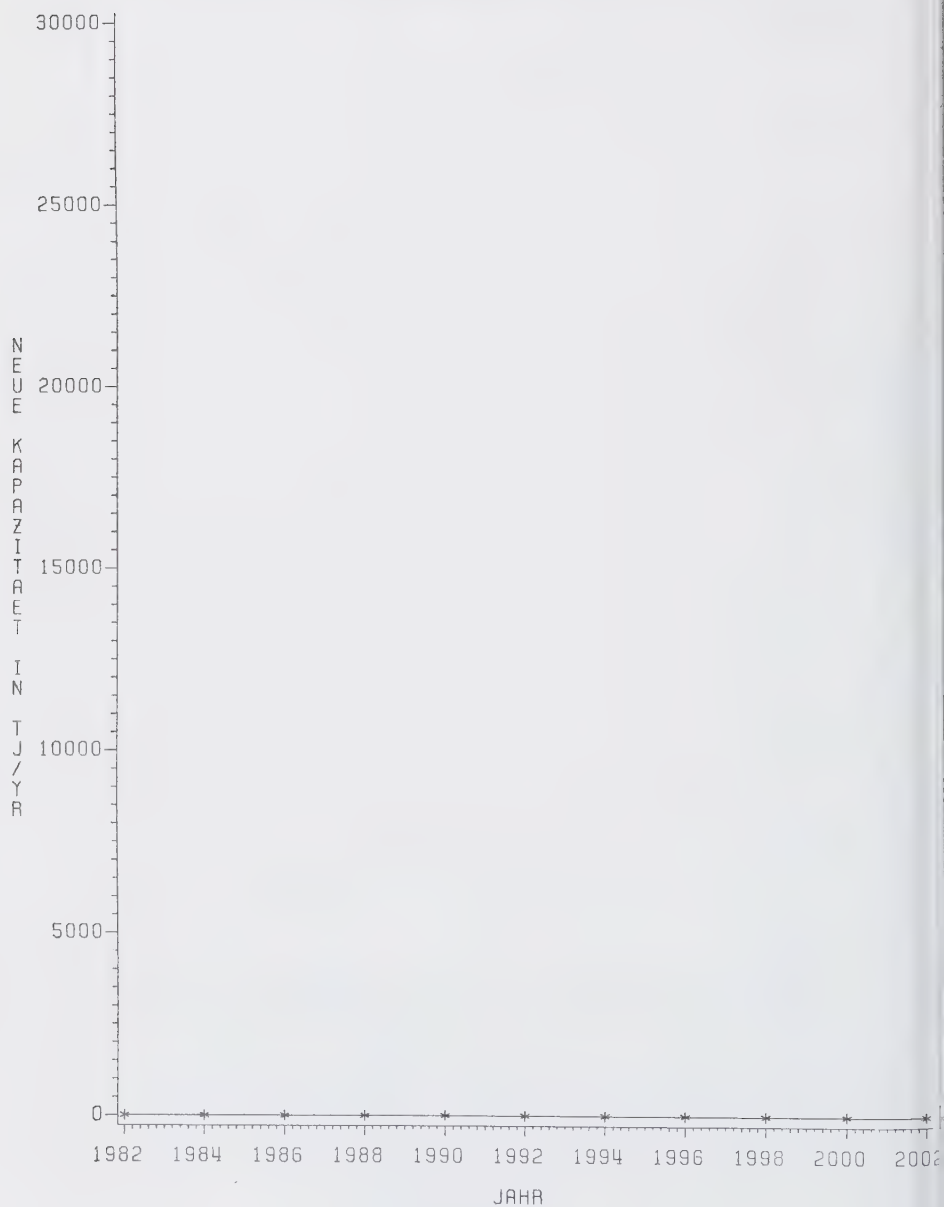
OEL – HEIZUNG

(INDUSTRIE)



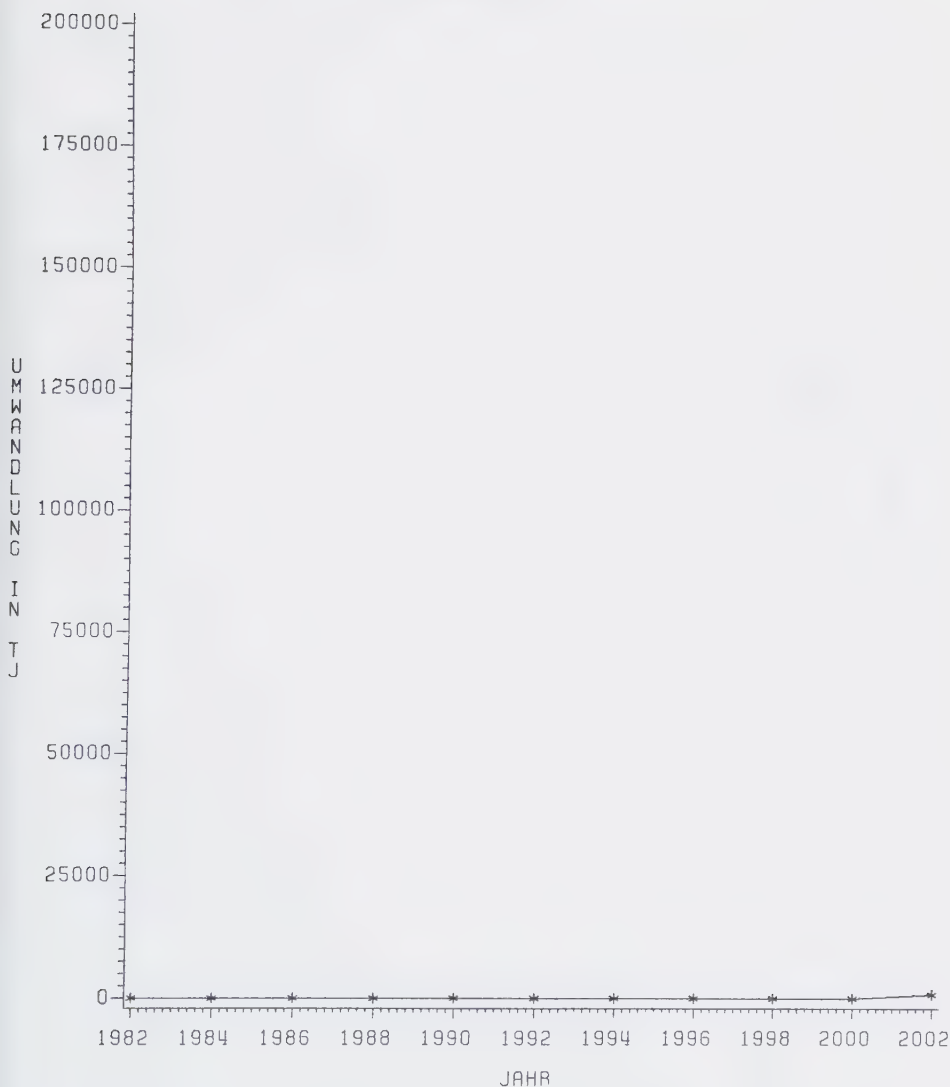
OEL — HEIZUNG

(INDUSTRIE)



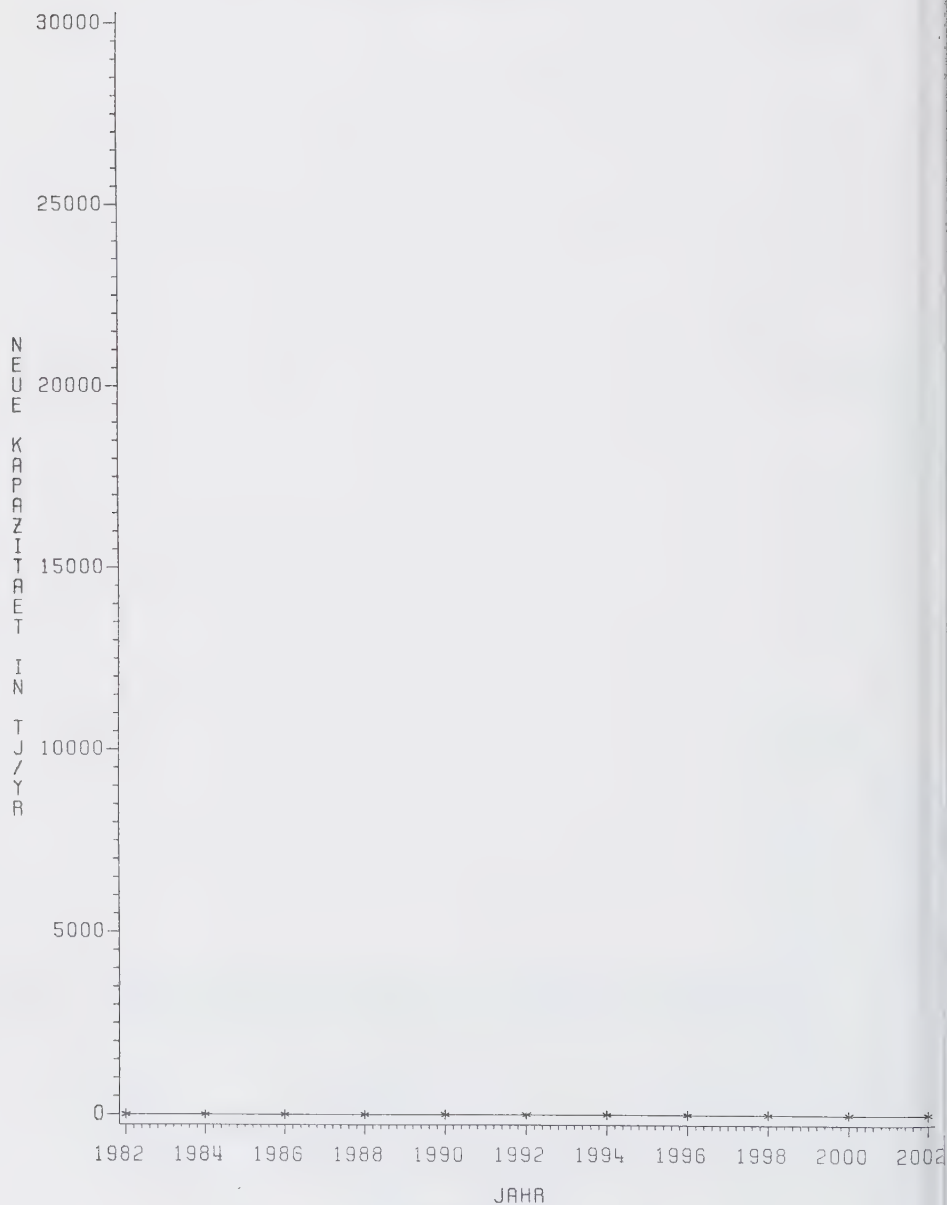
ELEKTRISCHE HEIZUNG

(INDUSTRIE)



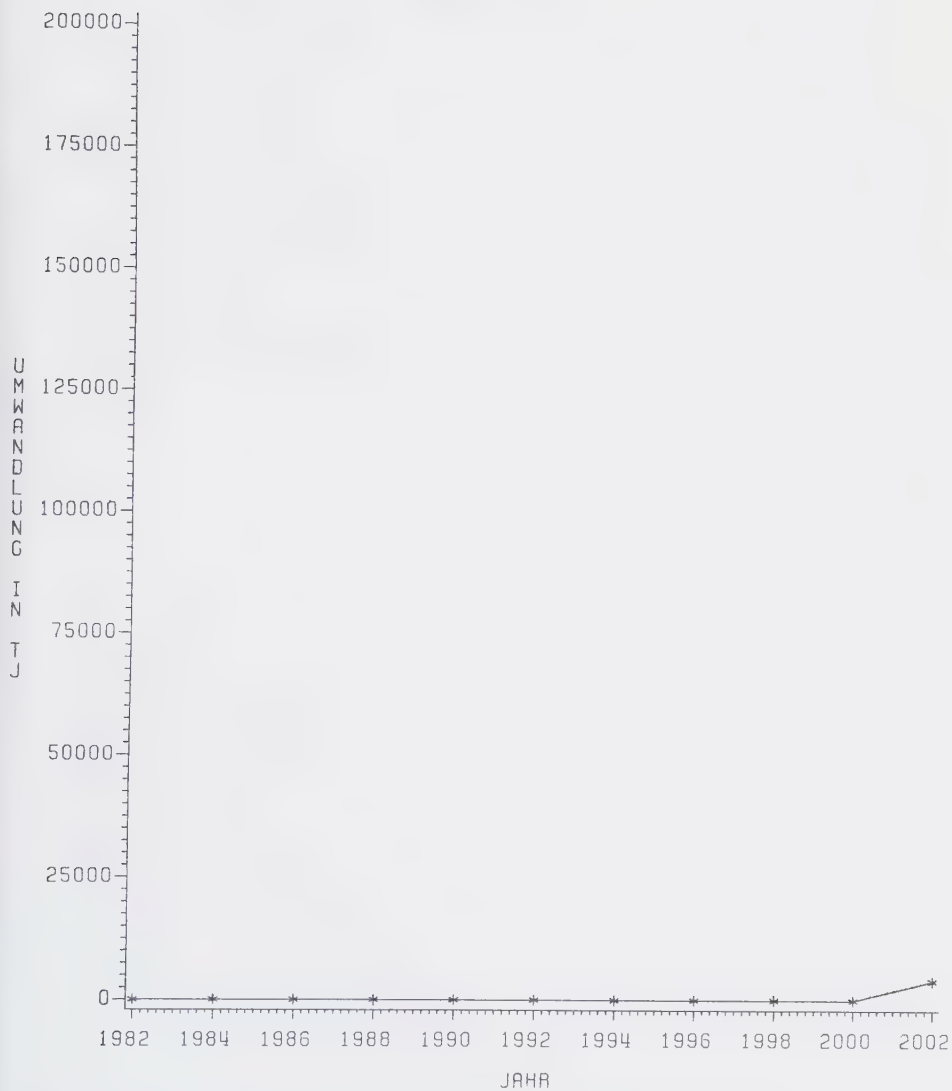
ELEKTRISCHE HEIZUNG

(INDUSTRIE)



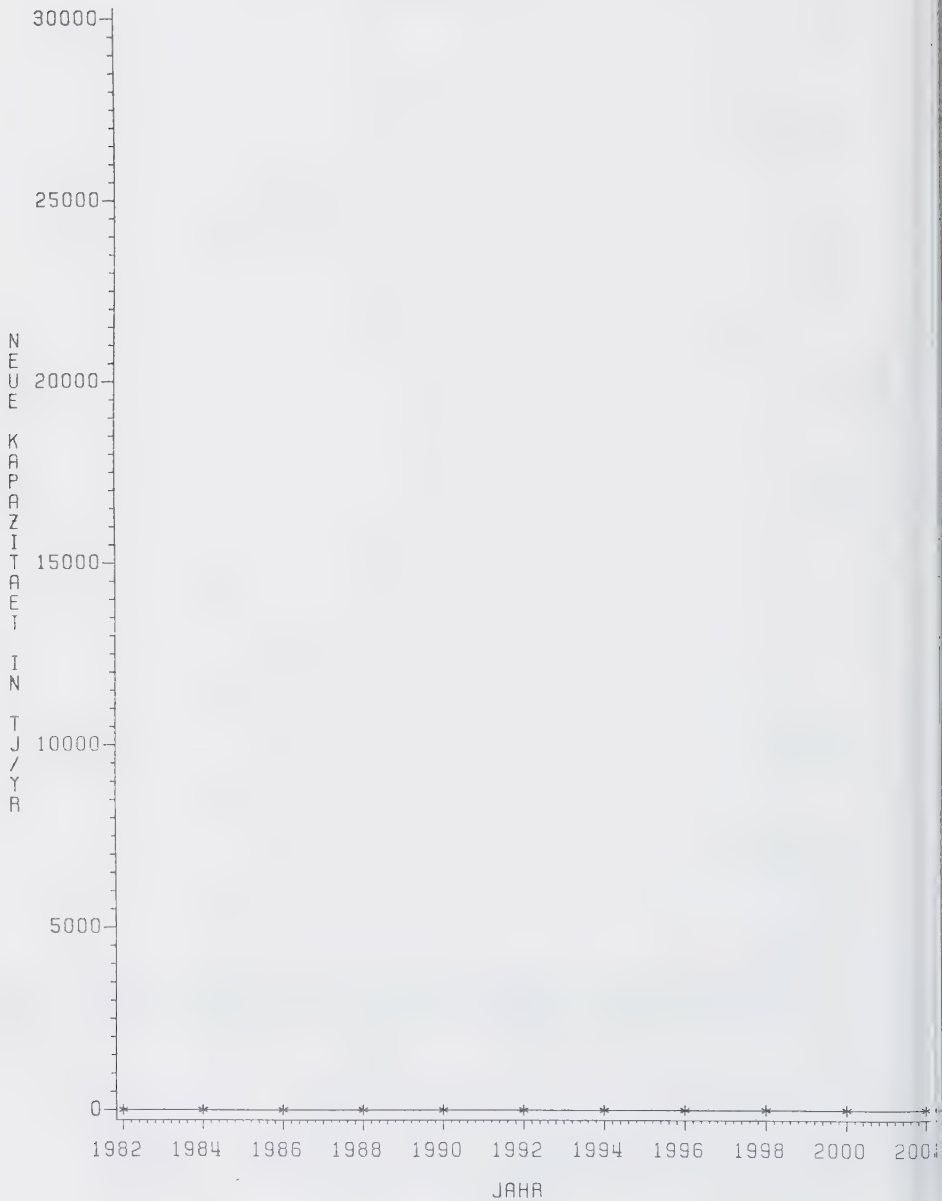
GAS – HEIZUNG

(INDUSTRIE)



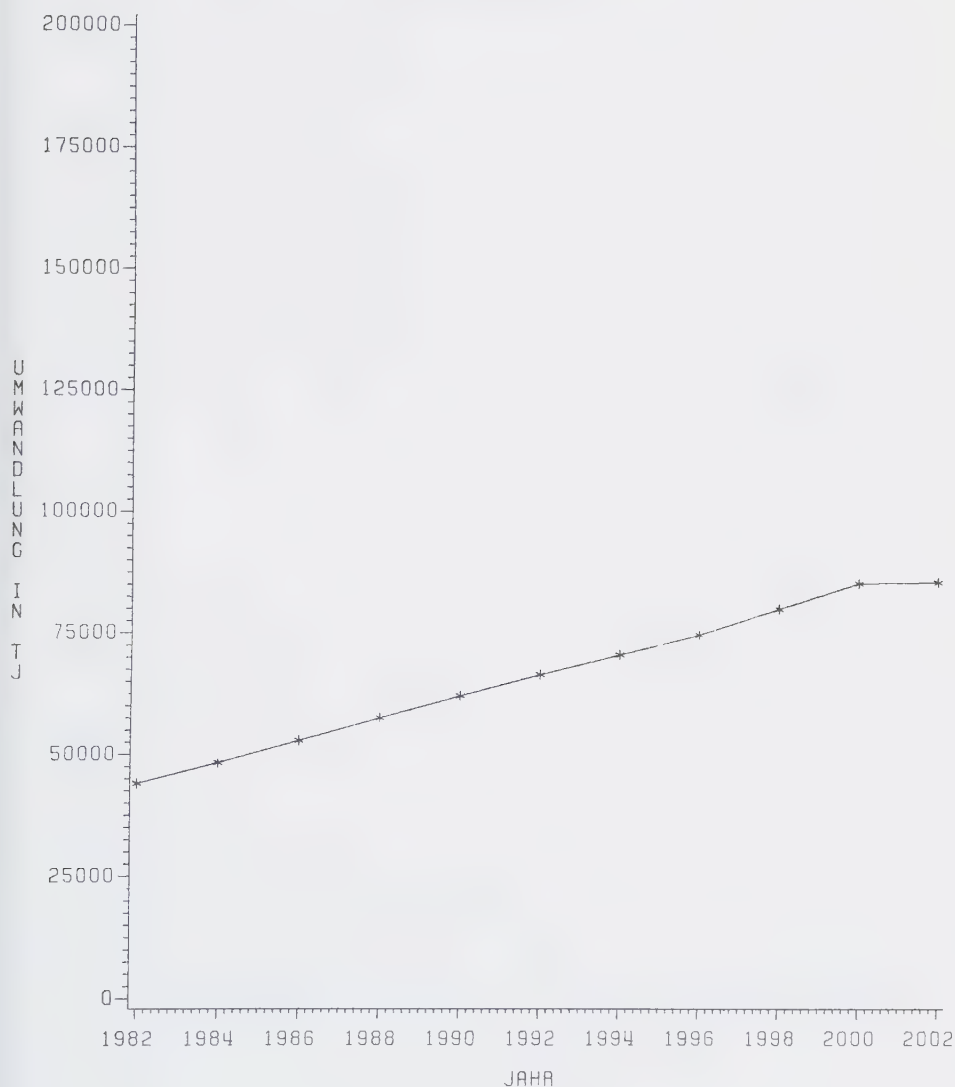
GAS — HEIZUNG

(INDUSTRIE)



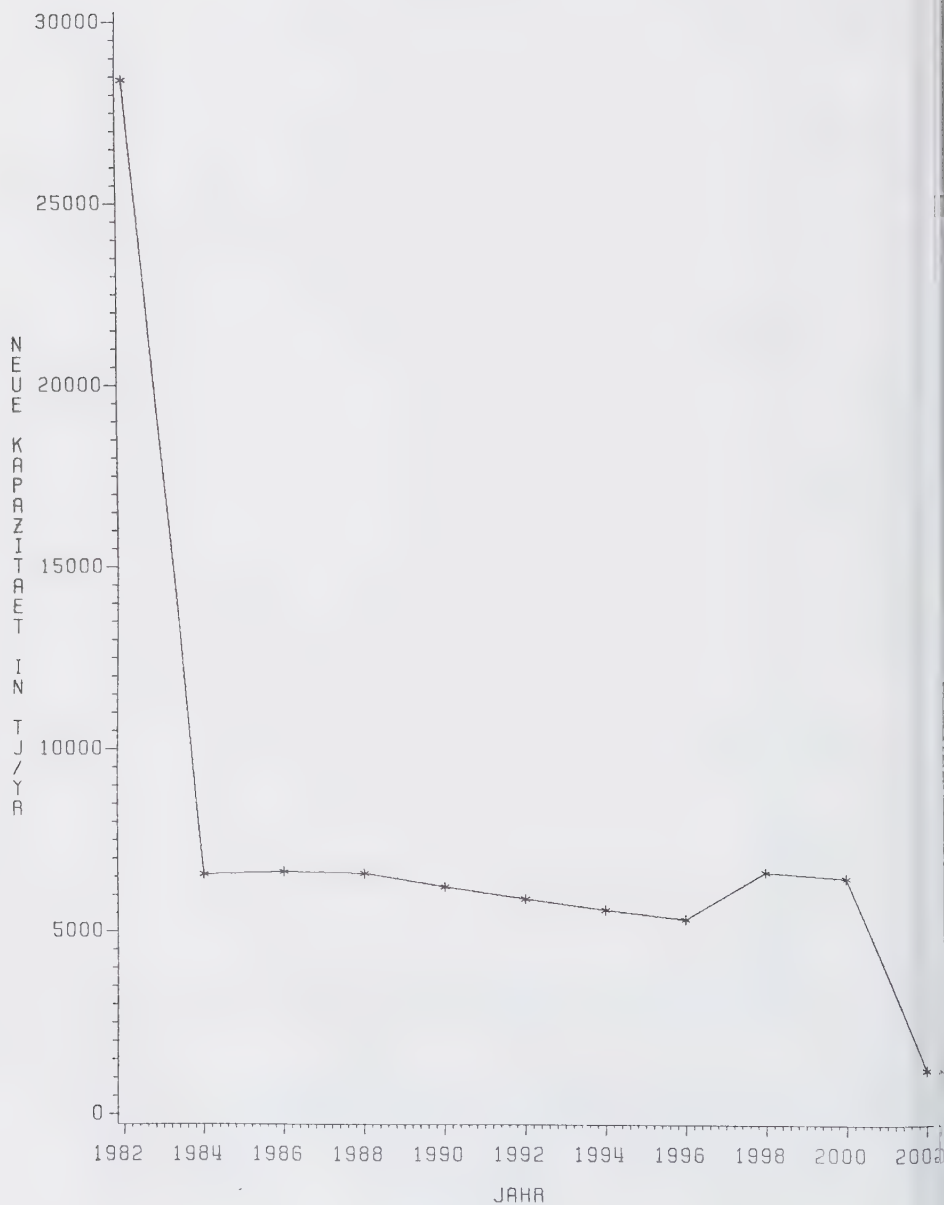
KOHLE – HEIZUNG

(INDUSTRIE)



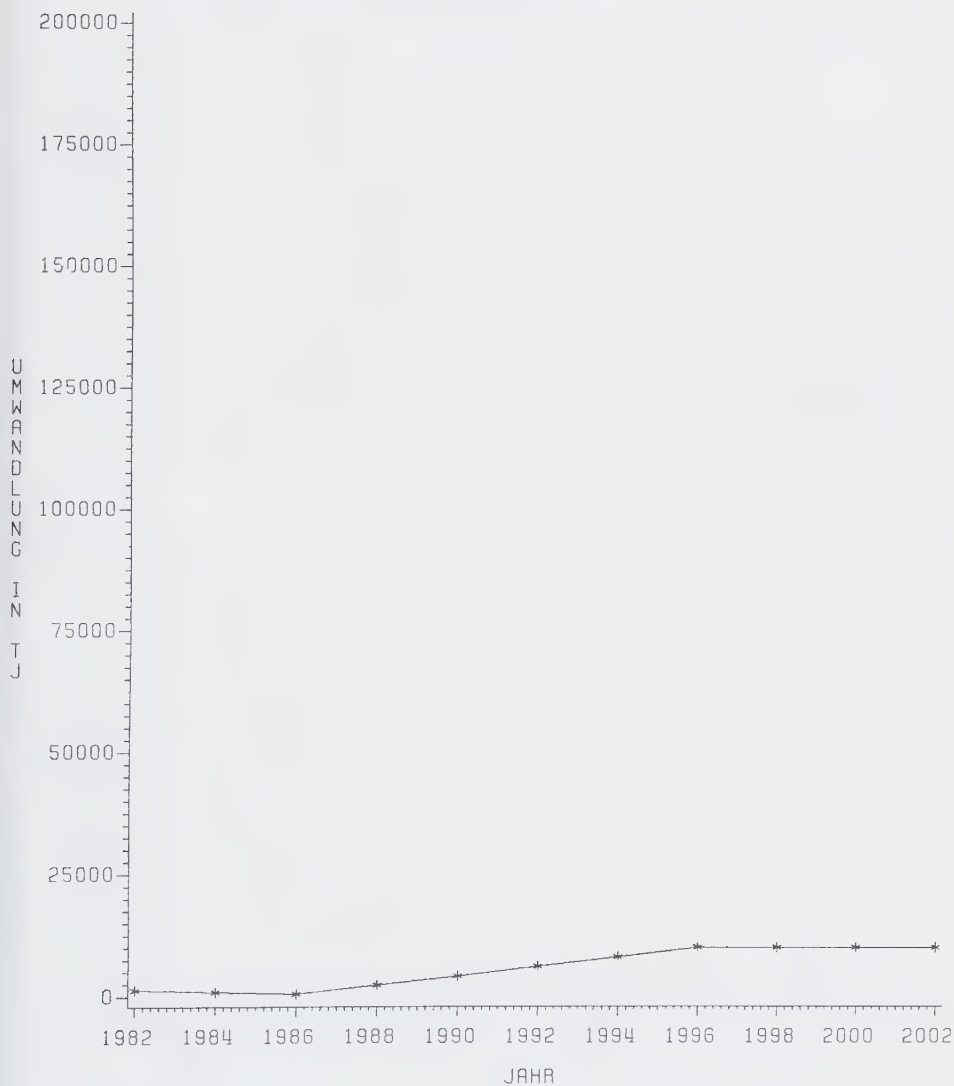
KOHLE - HEIZUNG

(INDUSTRIE)



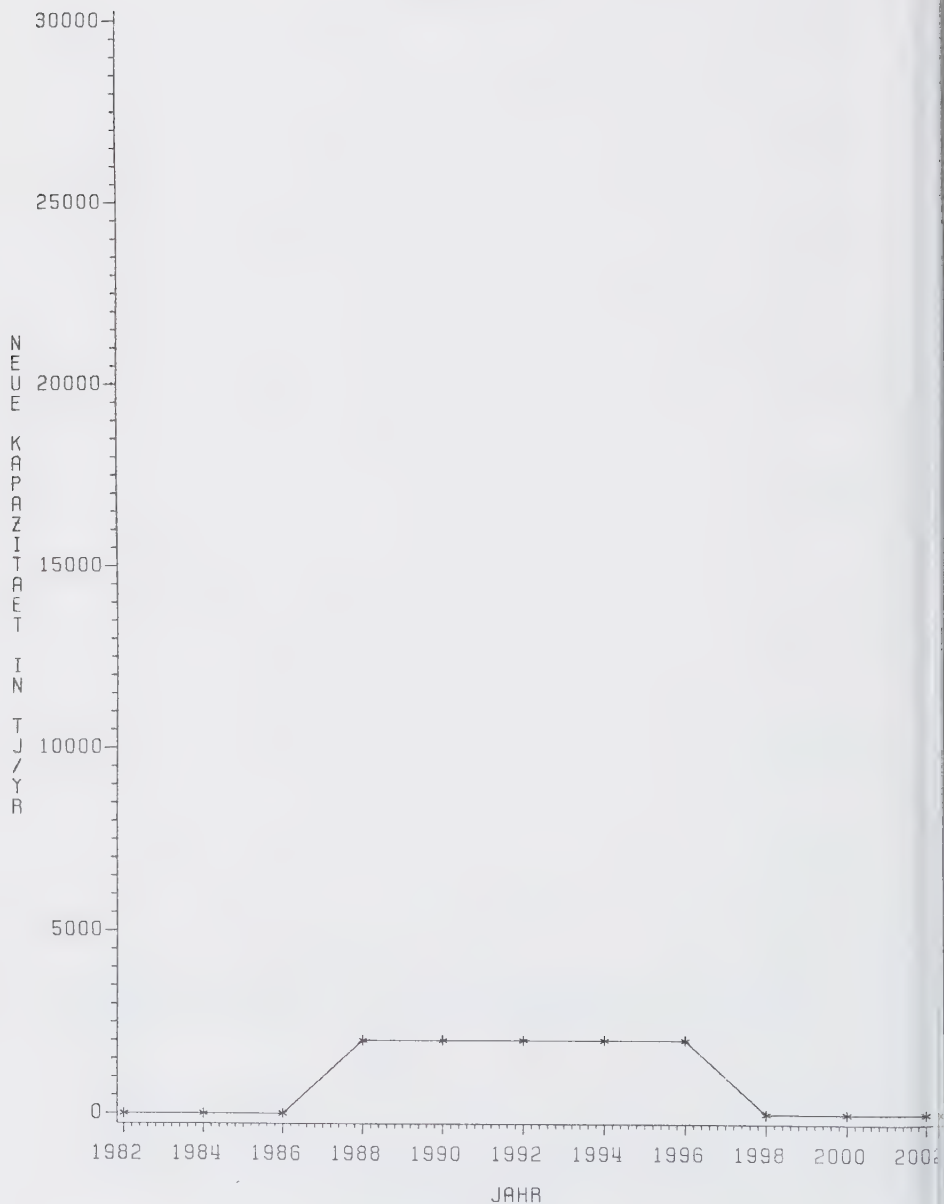
HOLZ – HEIZUNG

(INDUSTRIE)



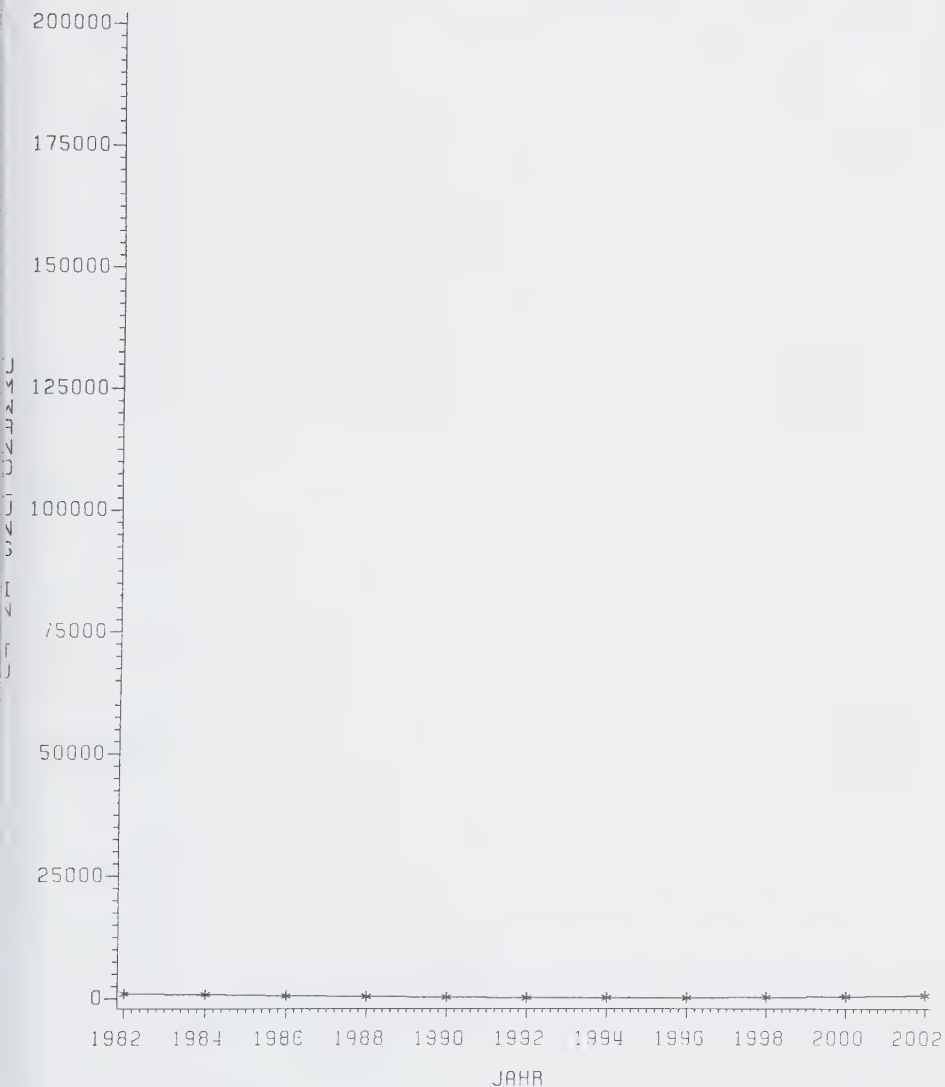
HOLZ - HEIZUNG

(INDUSTRIE)



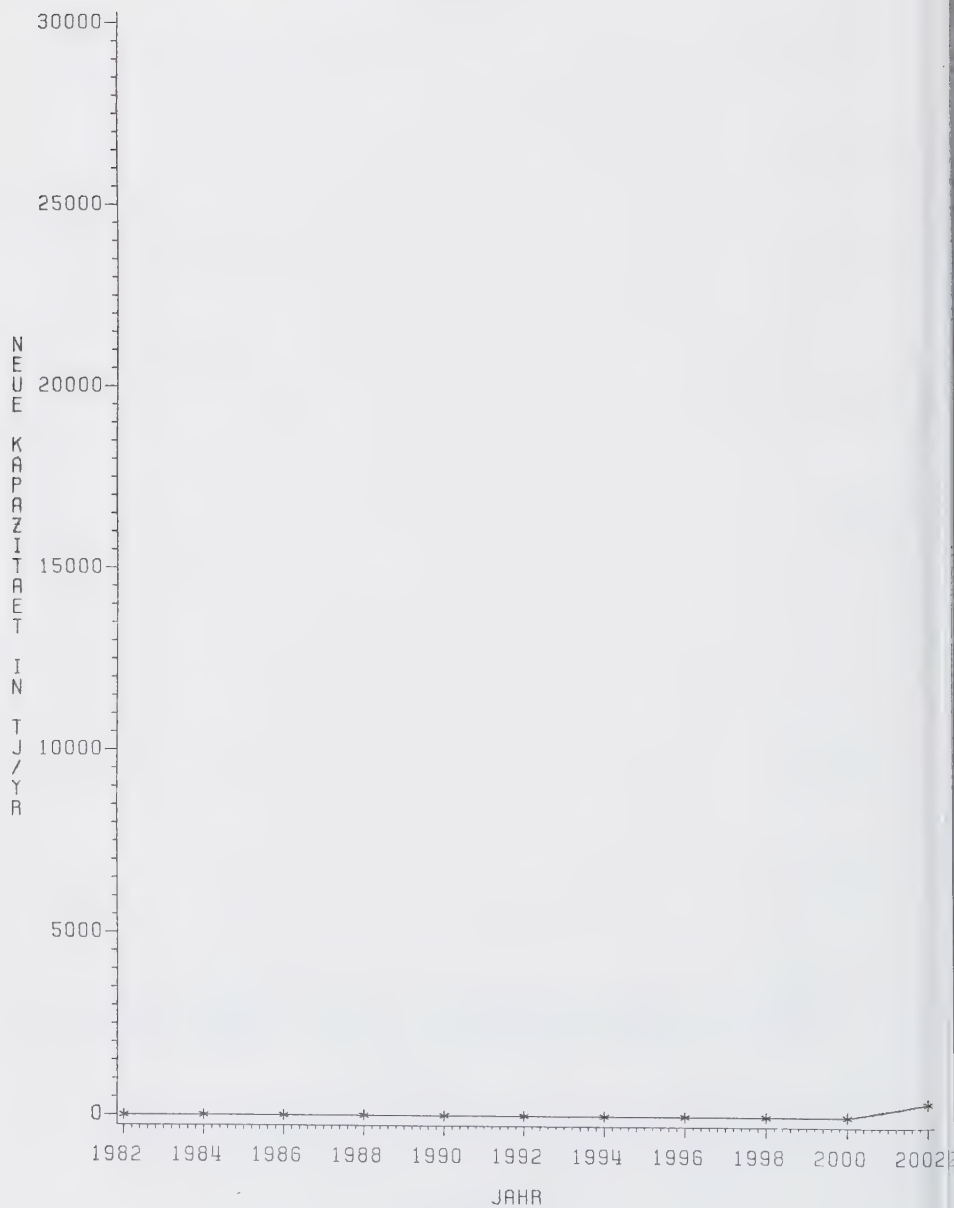
HEIZUNG MIT FERNWAERME

(INDUSTRIE)



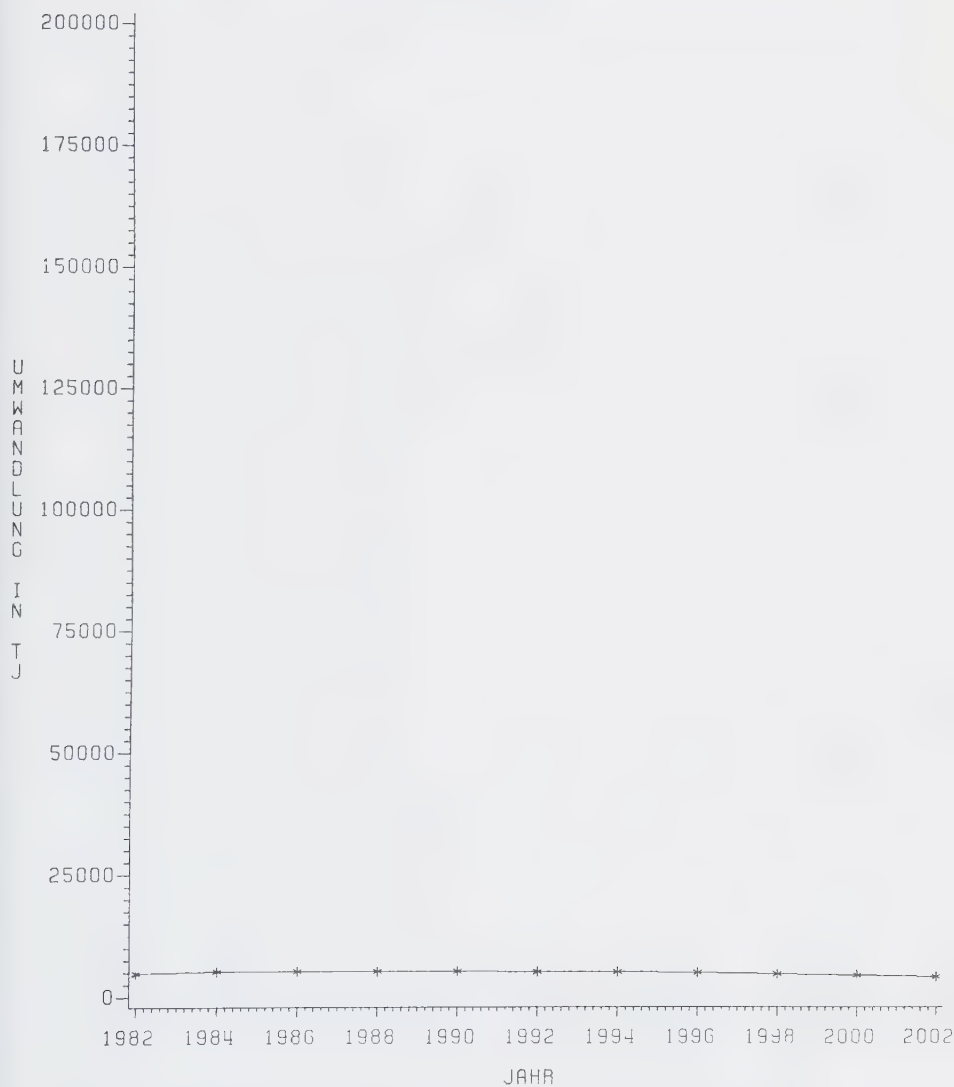
HEIZUNG MIT FERNWAERME

(INDUSTRIE)



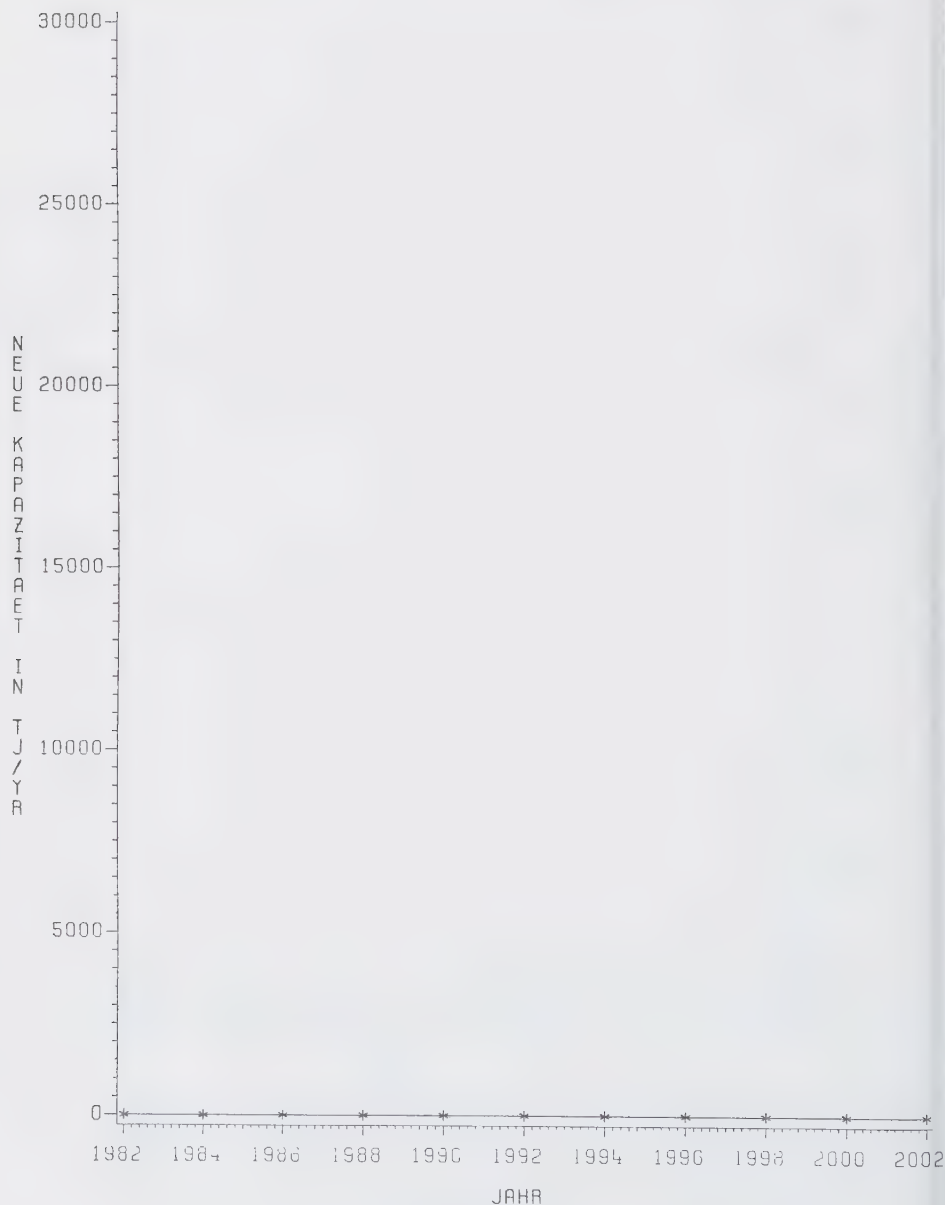
HEIZUNG MIT INDUSTRIEABFÄLLEN

(INDUSTRIE)



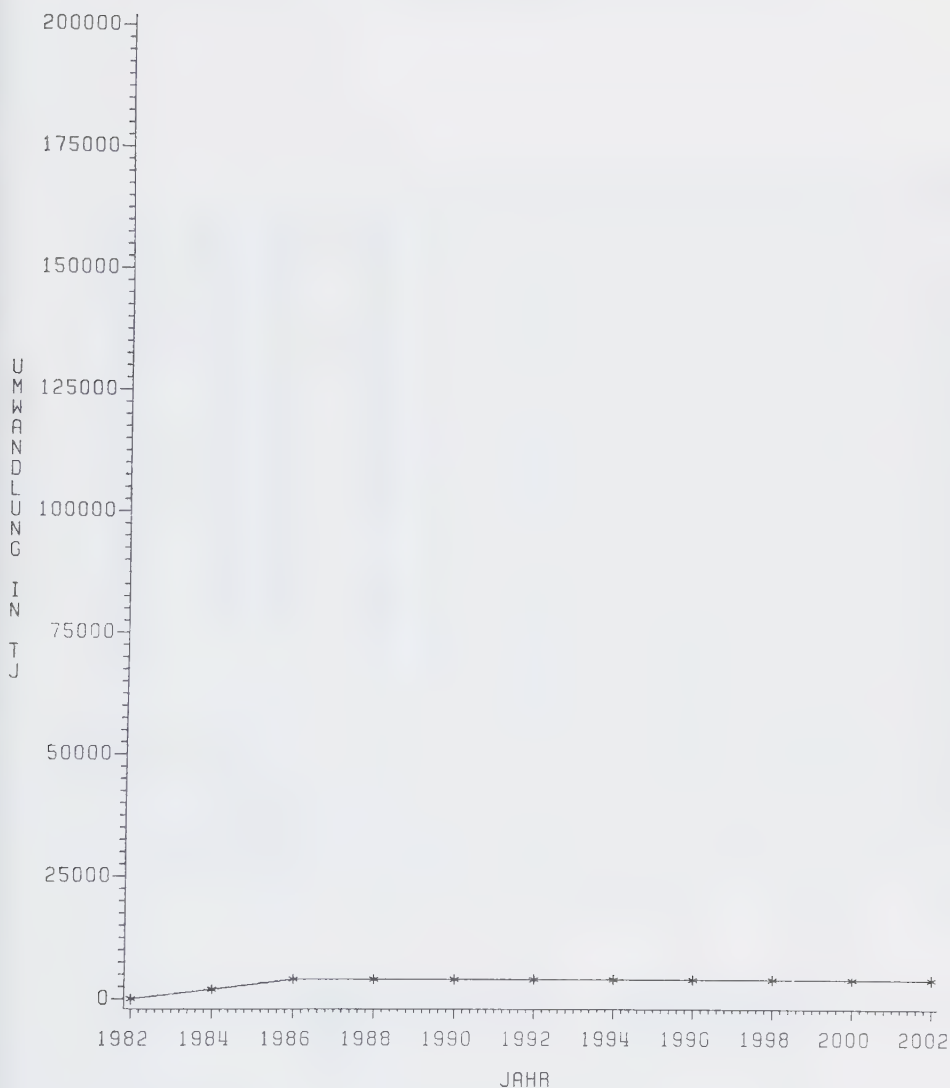
HEIZUNG MIT INDUSTRIEABFÄLLEN

(INDUSTRIE)



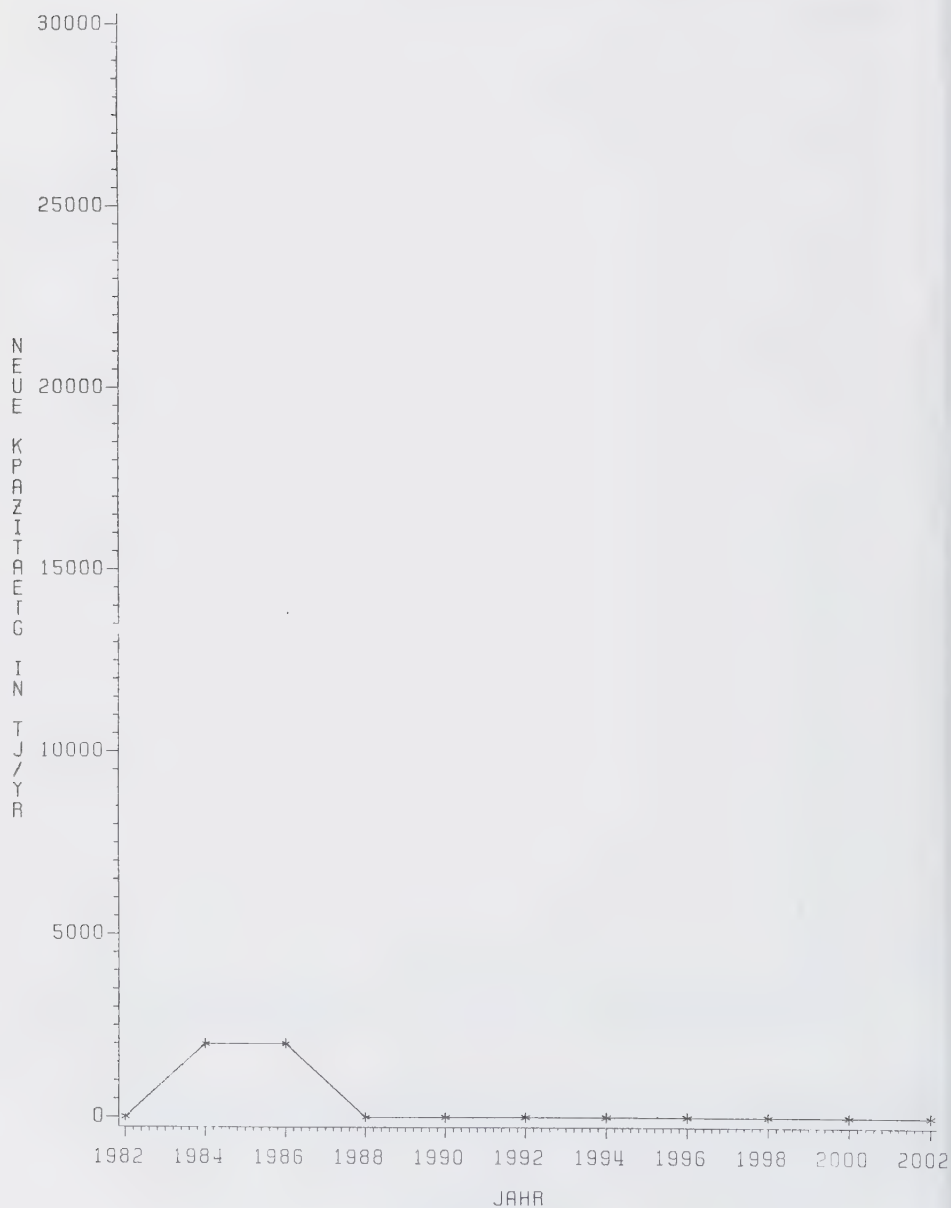
WAERME – KRAFT – KOPPLUNG

(INDUSTRIE)



WAERME - KRAFT - KOPPLUNG

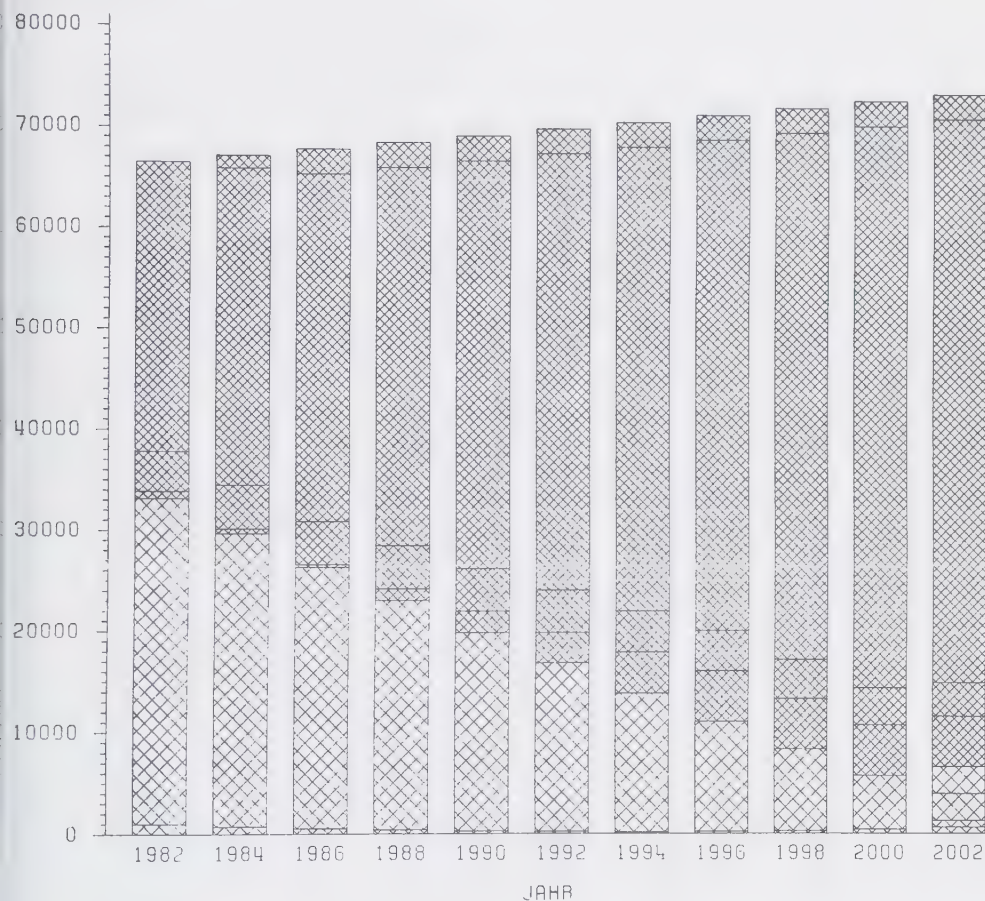
(INDUSTRIE)



MODAL SPLIT: WAERME IN DER INDUSTRIE

AUFTEILUNG DER WAERMENACHFRAGE NACH ENDENERGIEN
WAERME - KRAFT - KÖPPLUNG IST SEPARAT DARGESTELLT

WAERME SUM

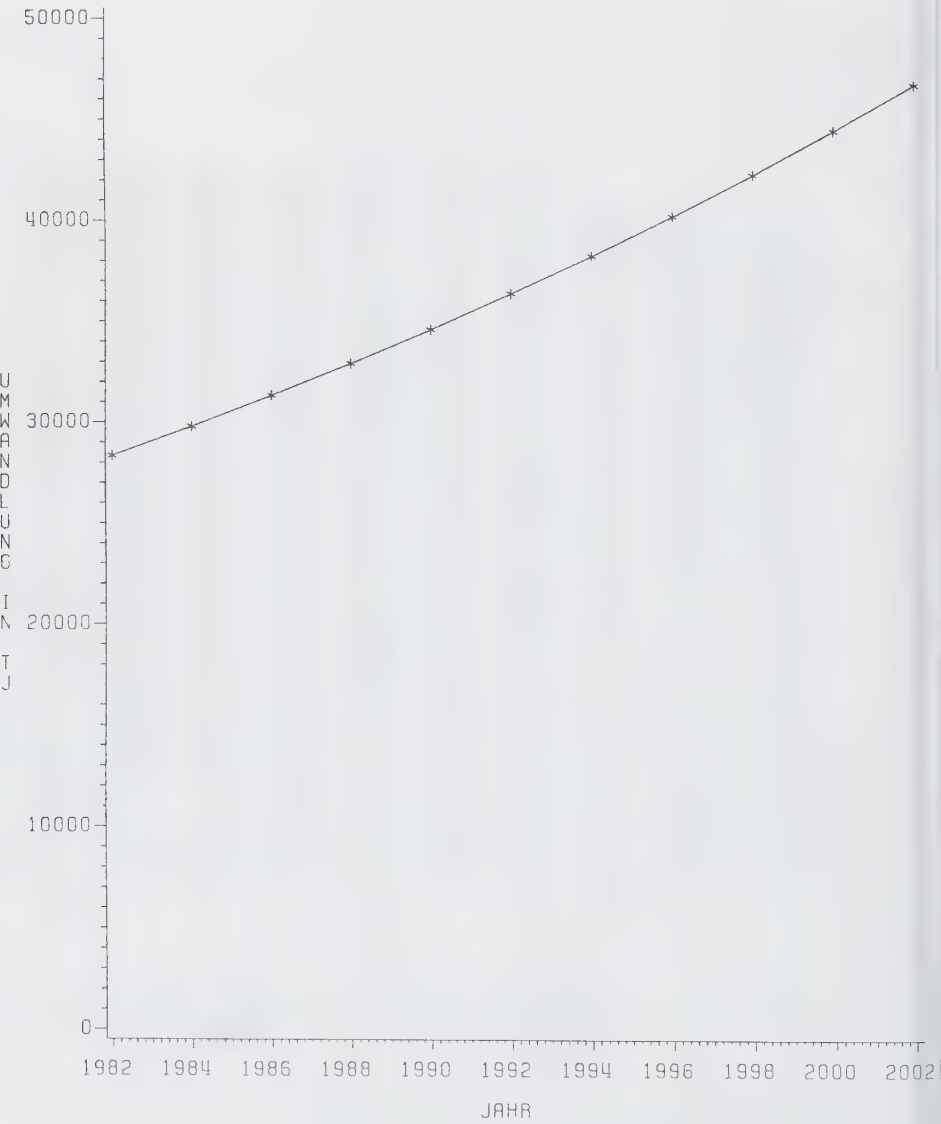


LEGEND: TECH

ELEKTRIZITAET
FL. BRENNSTOFF
HOLZ
KOHLE

FERNWAERME
GAS
IND. ABFAELLE
W - K - K

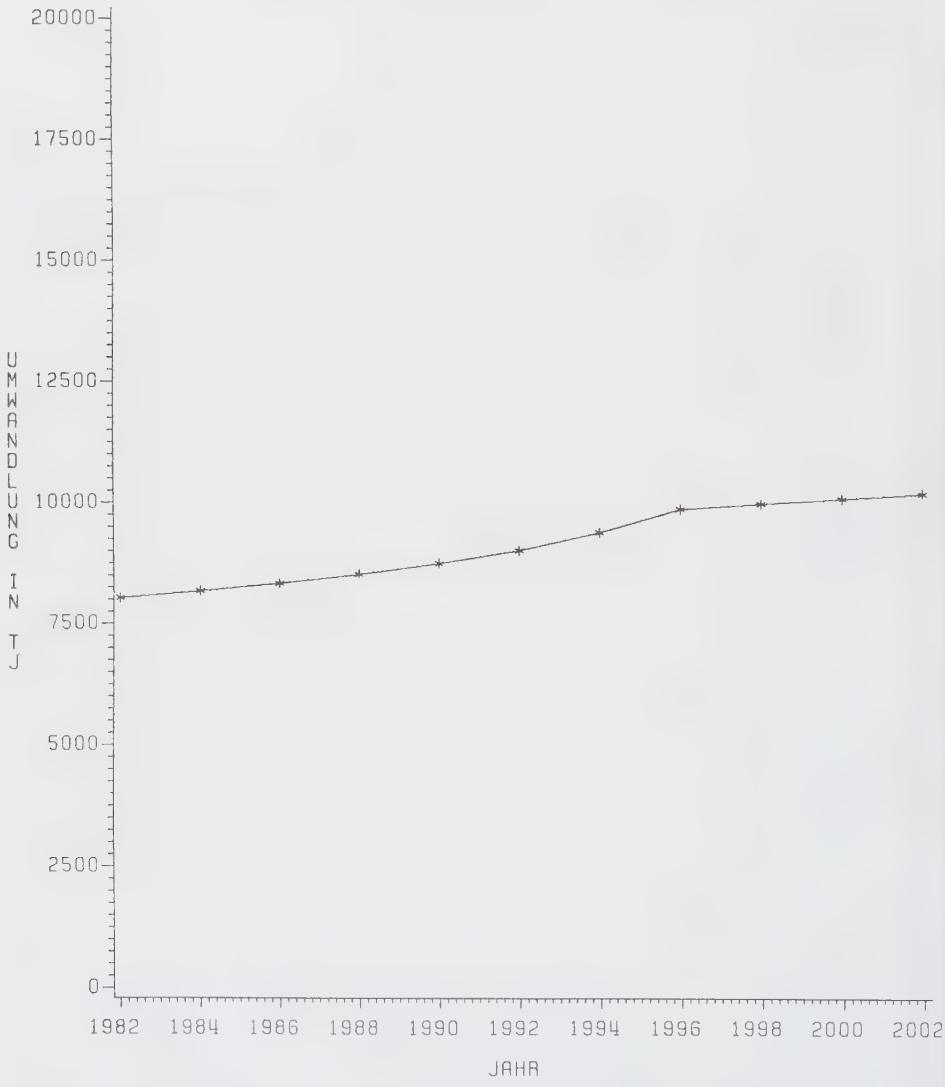
MECHANISCHE ARBEIT MIT ELEKTRIZITÄT
(INDUSTRIE)



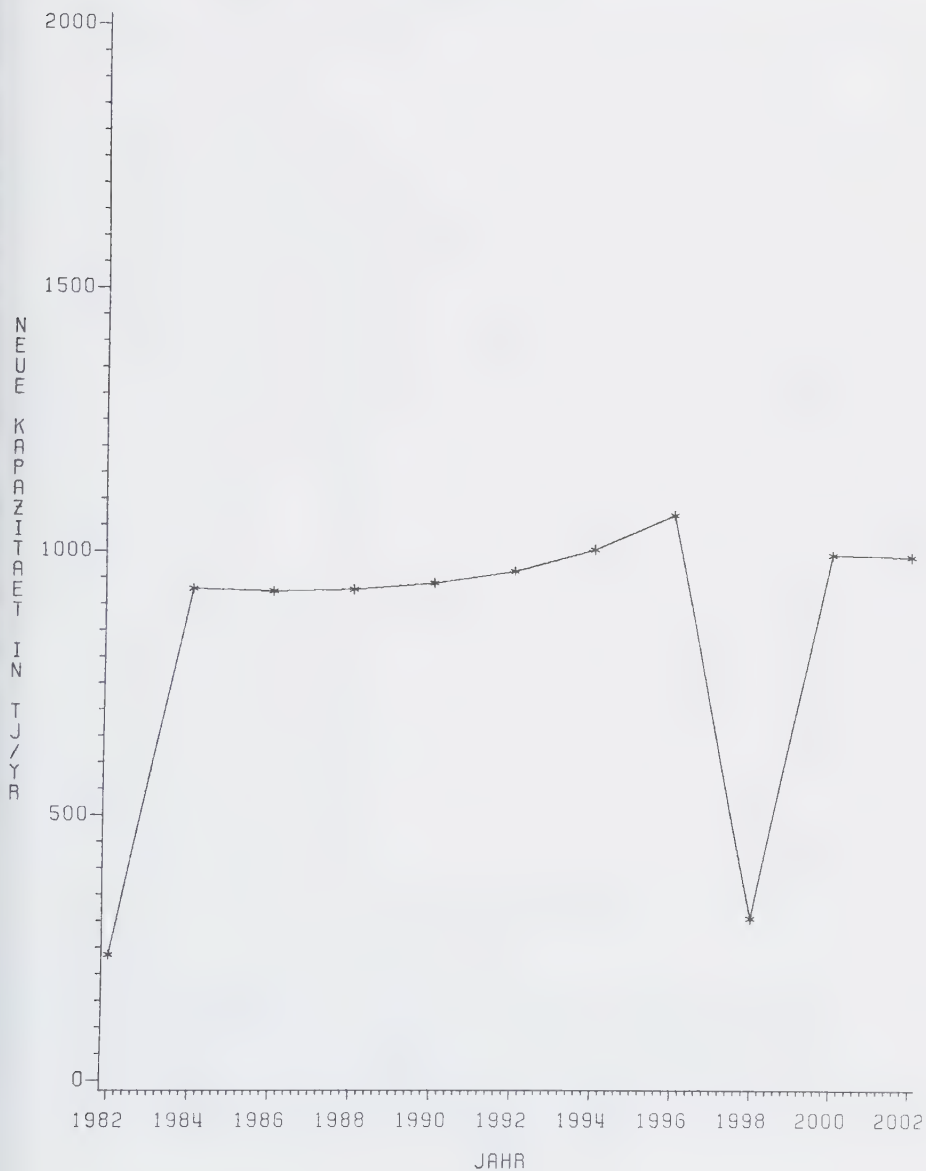
MECHANISCHE ARBEIT MIT ELEKTRIZITÄT (INDUSTRIE)



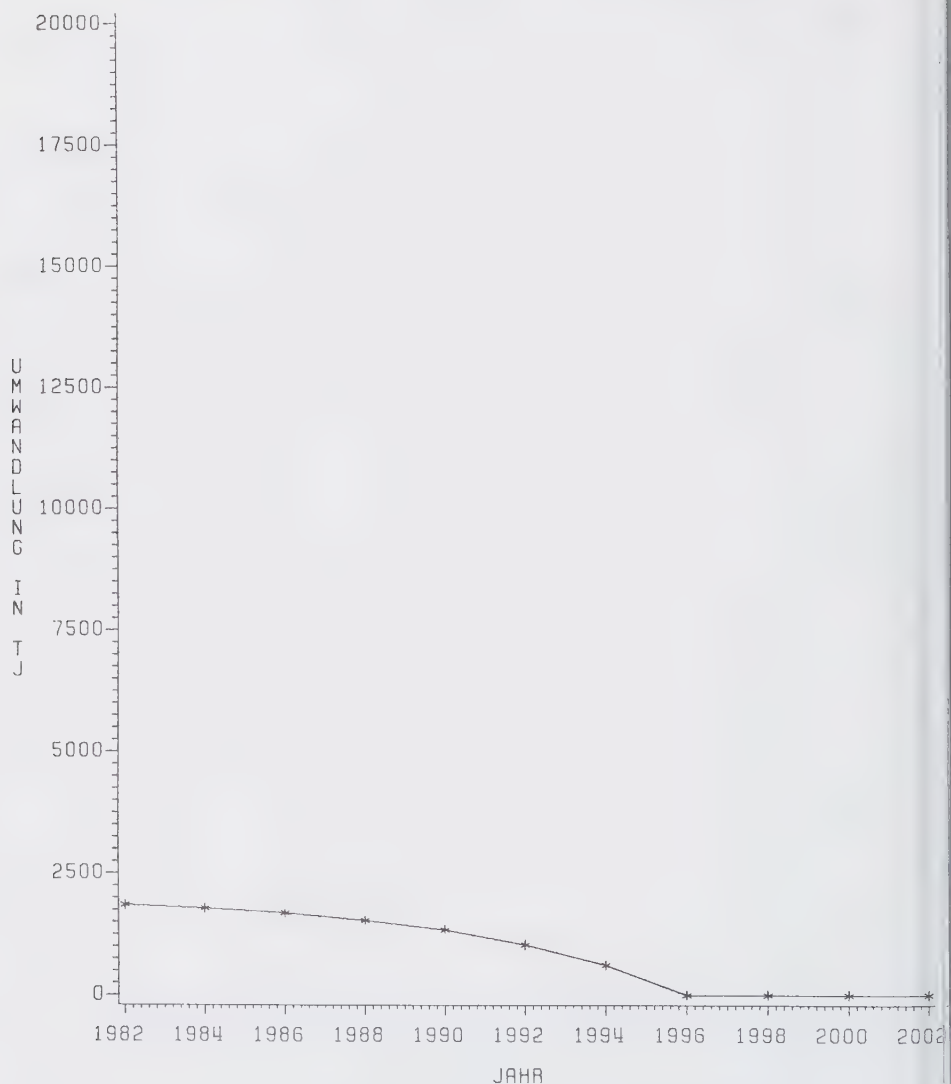
CHEMISCHE PROZESSENERGIE MIT ELEKTRIZITÄT
(INDUSTRIE)



CHEMISCHE PROZESSENERGIE MIT ELEKTRIZITÄT (INDUSTRIE)



CHEMISCHE PROZESSENERGIE MIT KOHLE (INDUSTRIE)



CHEMISCHE PROZESSENERGIE MIT KOHLE

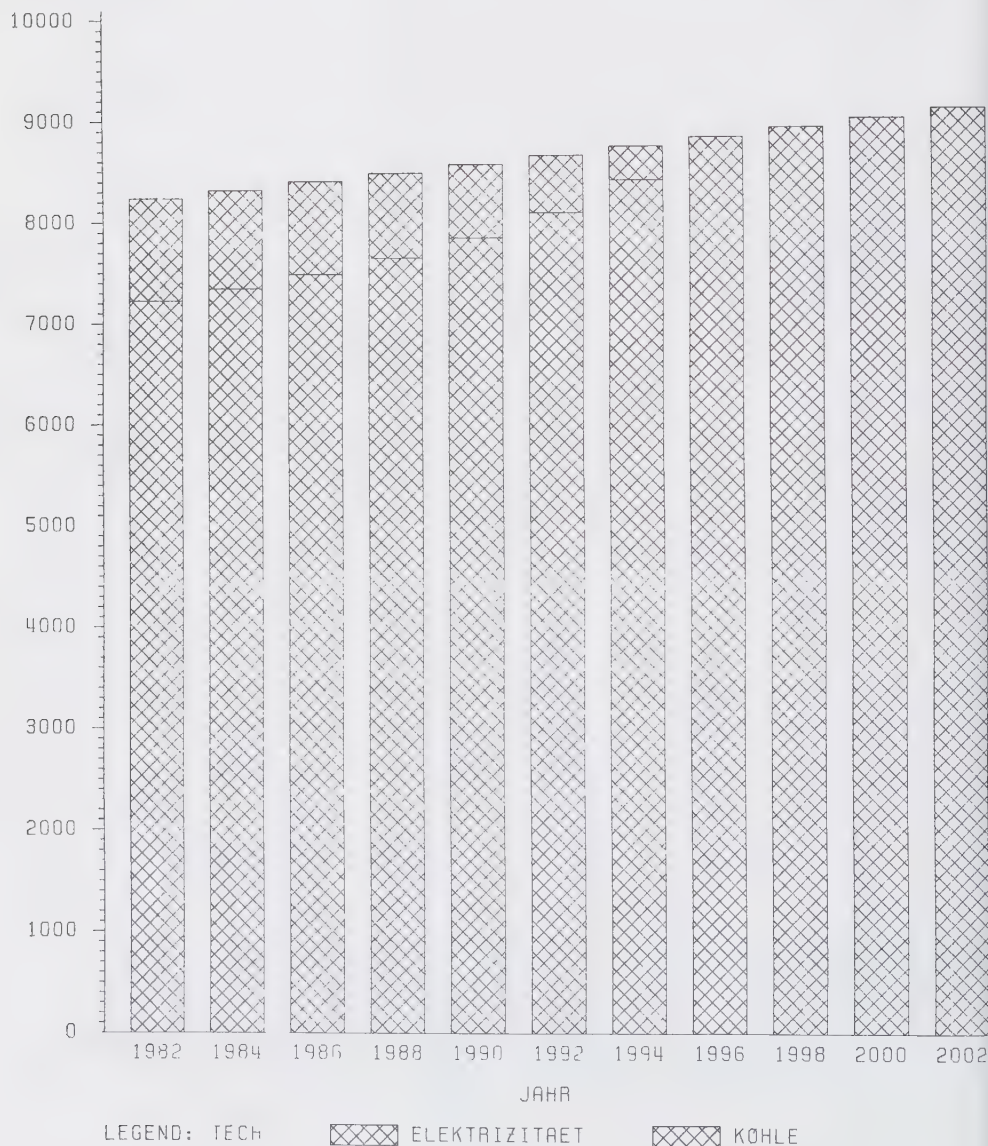
(INDUSTRIE)



MODAL SPLIT: CHEMISCHE PROZESSENERGIE'

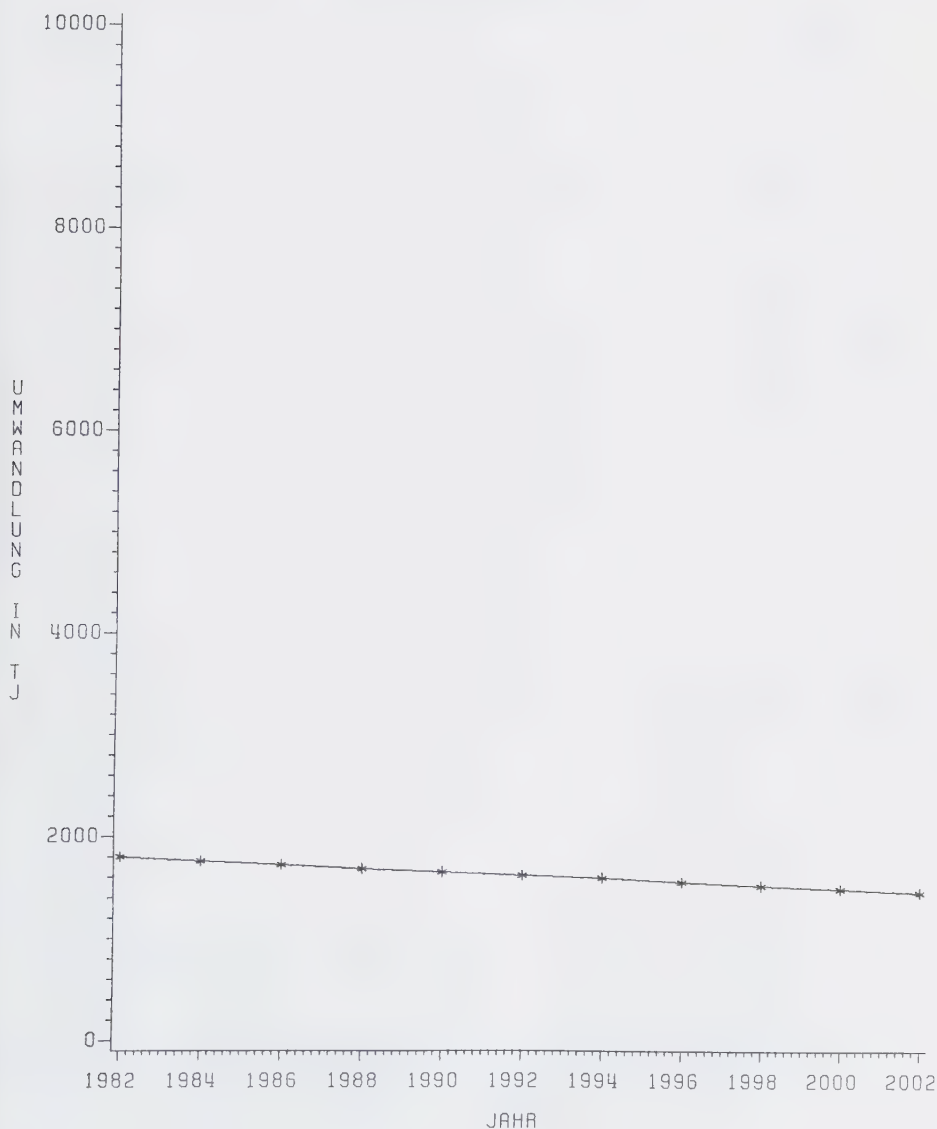
AUFTEILUNG DER NACHFRAGE NACH ENDENERGIEN

PROZESSE SUM



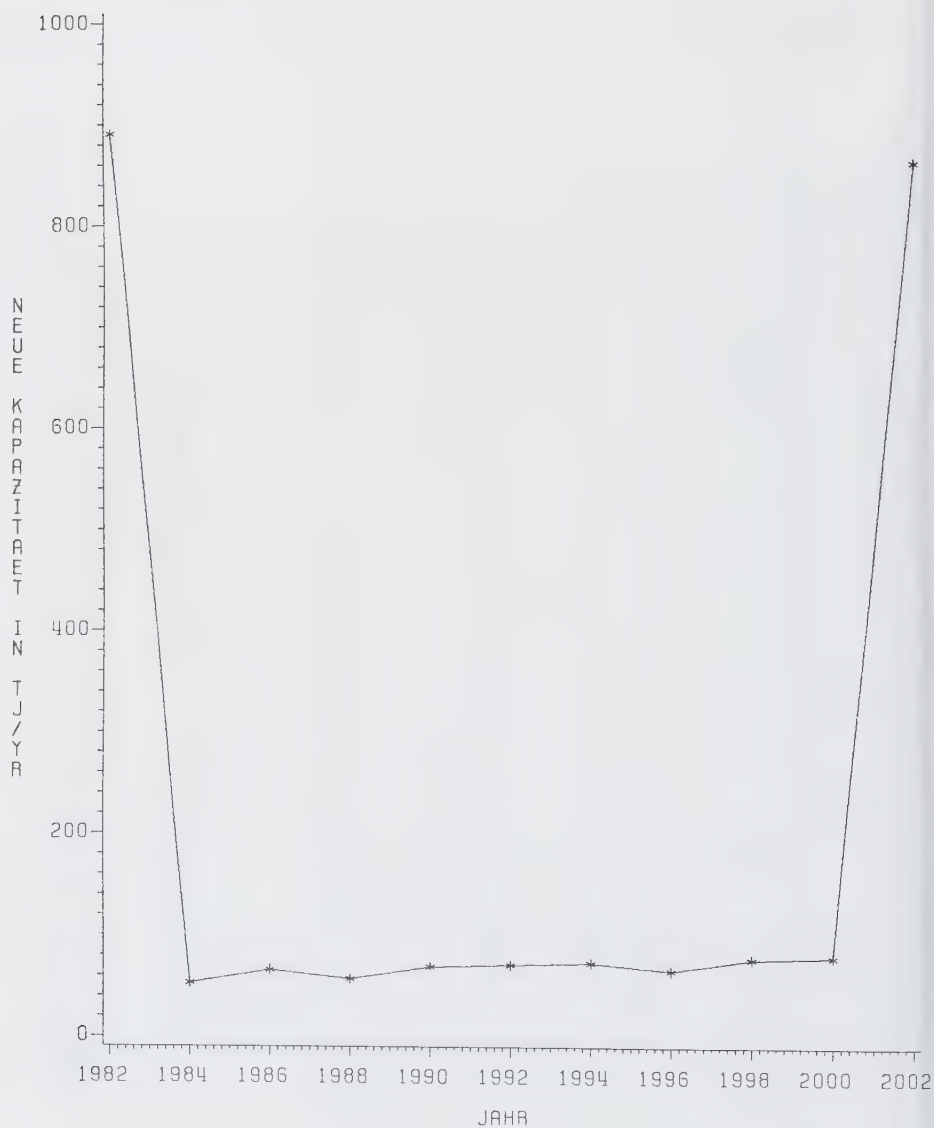
ELEKTRISCHES LICHT

(INDUSTRIE)



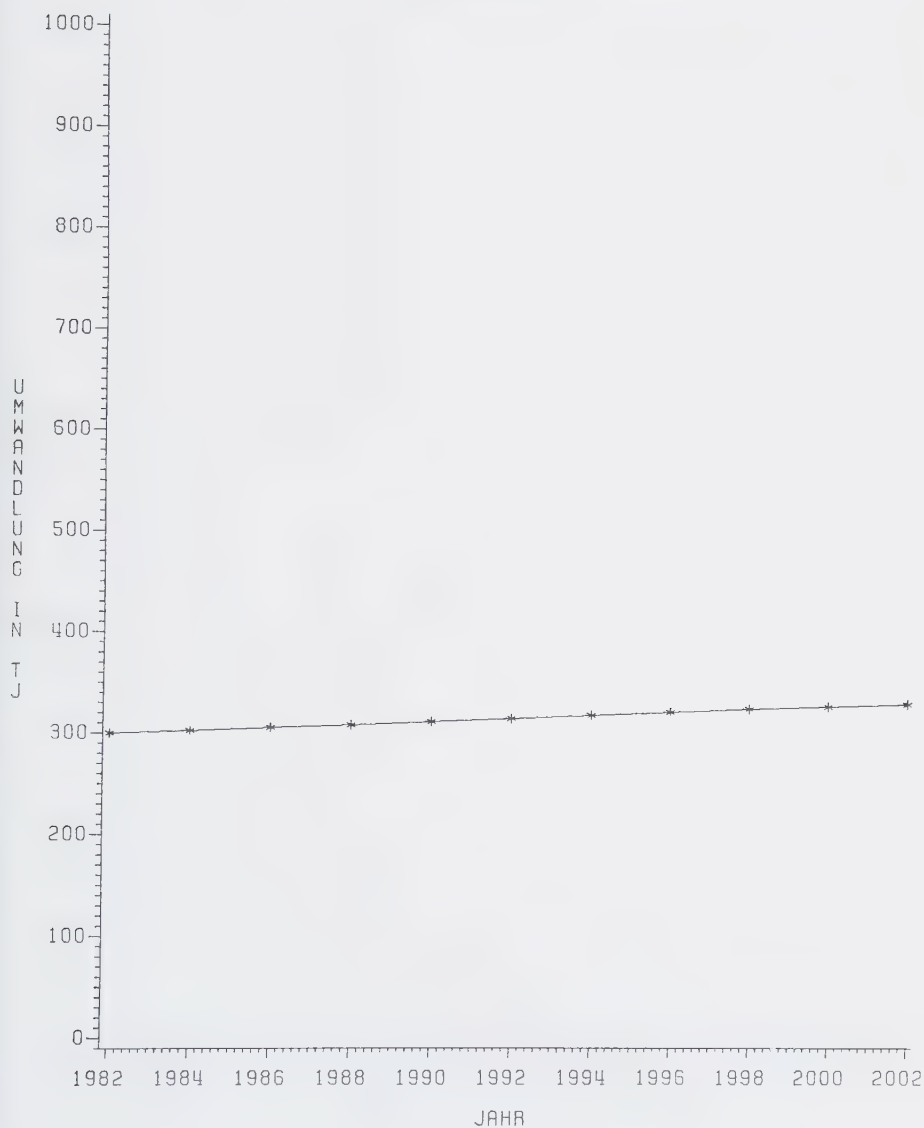
ELEKTRISCHES LICHT

(INDUSTRIE)



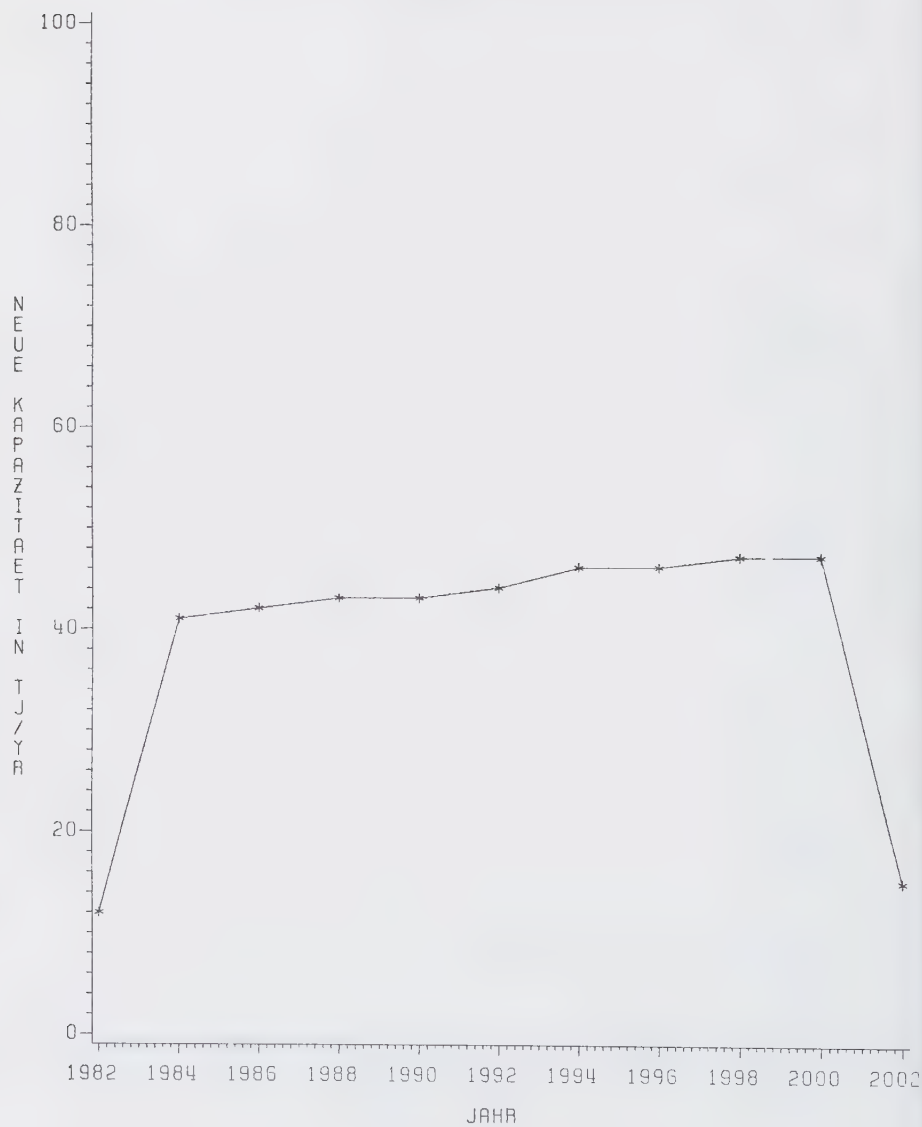
ELEKTRISCHE HEIZUNG

(VERKEHR)

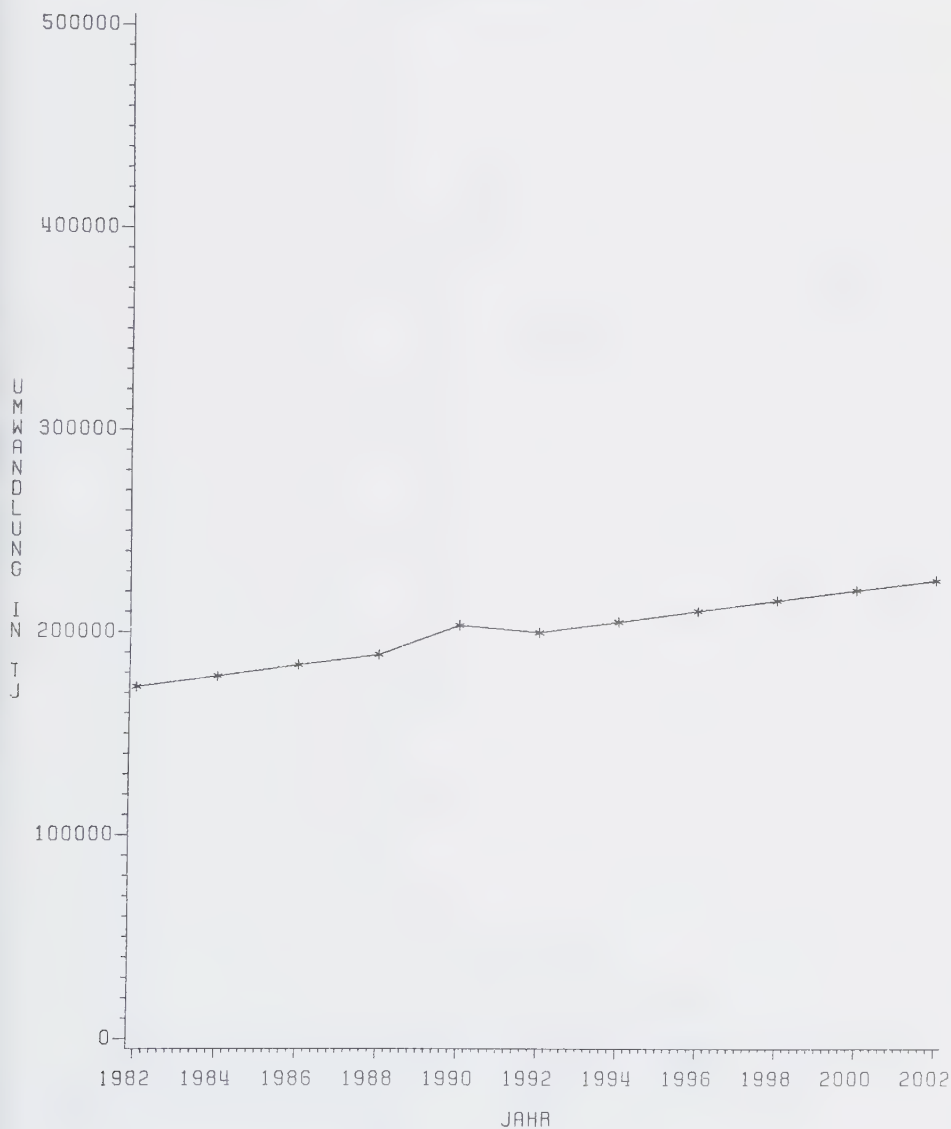


ELEKTRISCHE HEIZUNG

(VERKEHR)



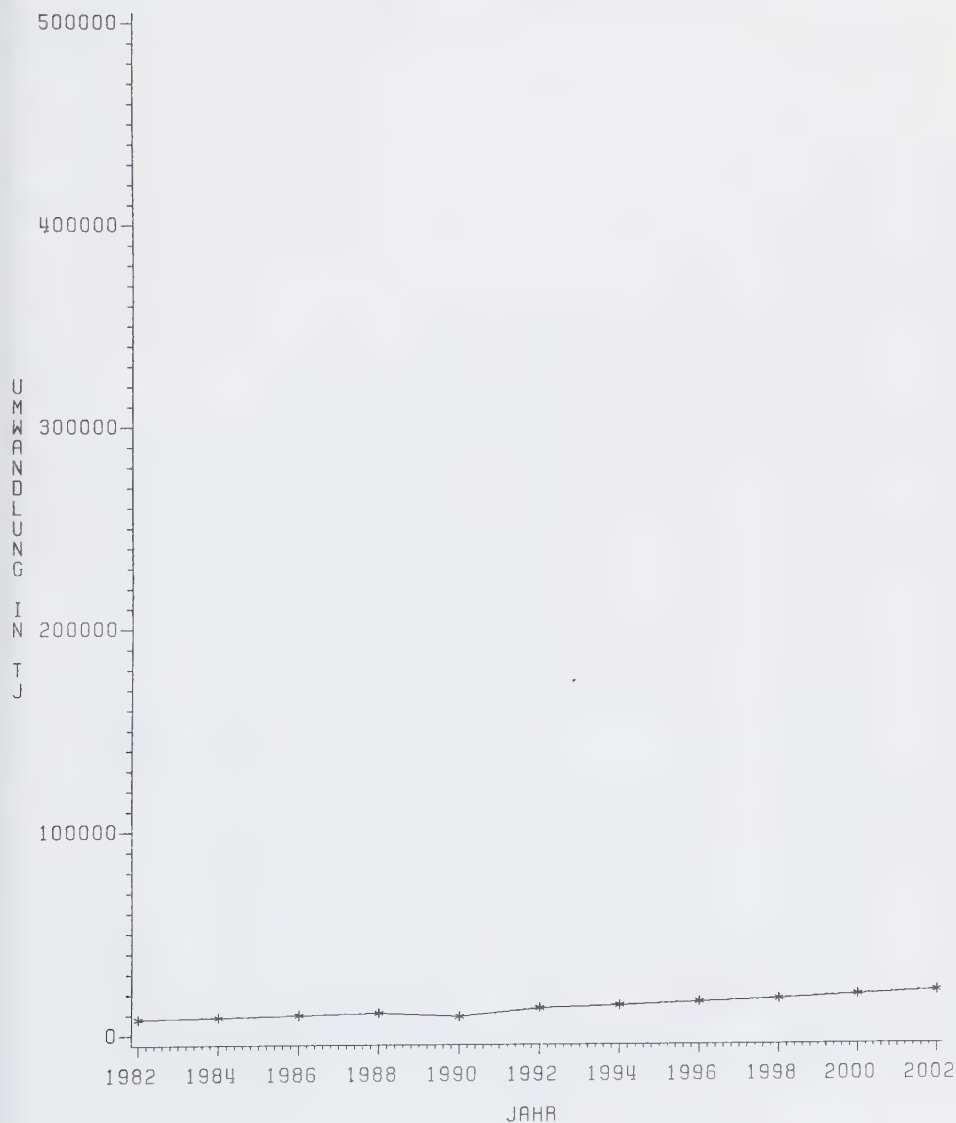
MECHANISCHE ARBEIT MIT FL. TREIBSTOFF (VERKEHR)



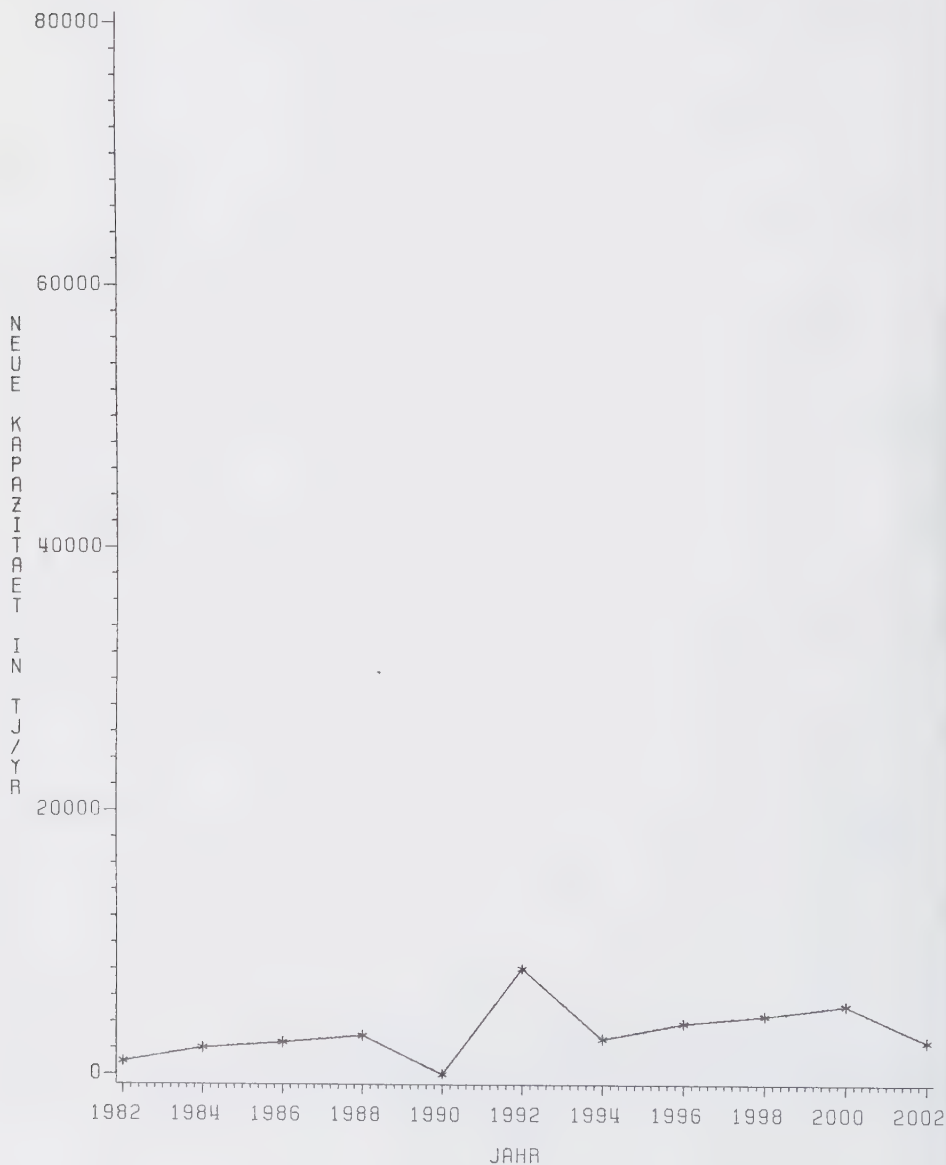
MECHANISCHE ARBEIT MIT FL. TREIBSTOFFEN (VERKEHR)



MECHANISCHE ARBEIT MIT ELEKTRIZITÄT (VERKEHR)



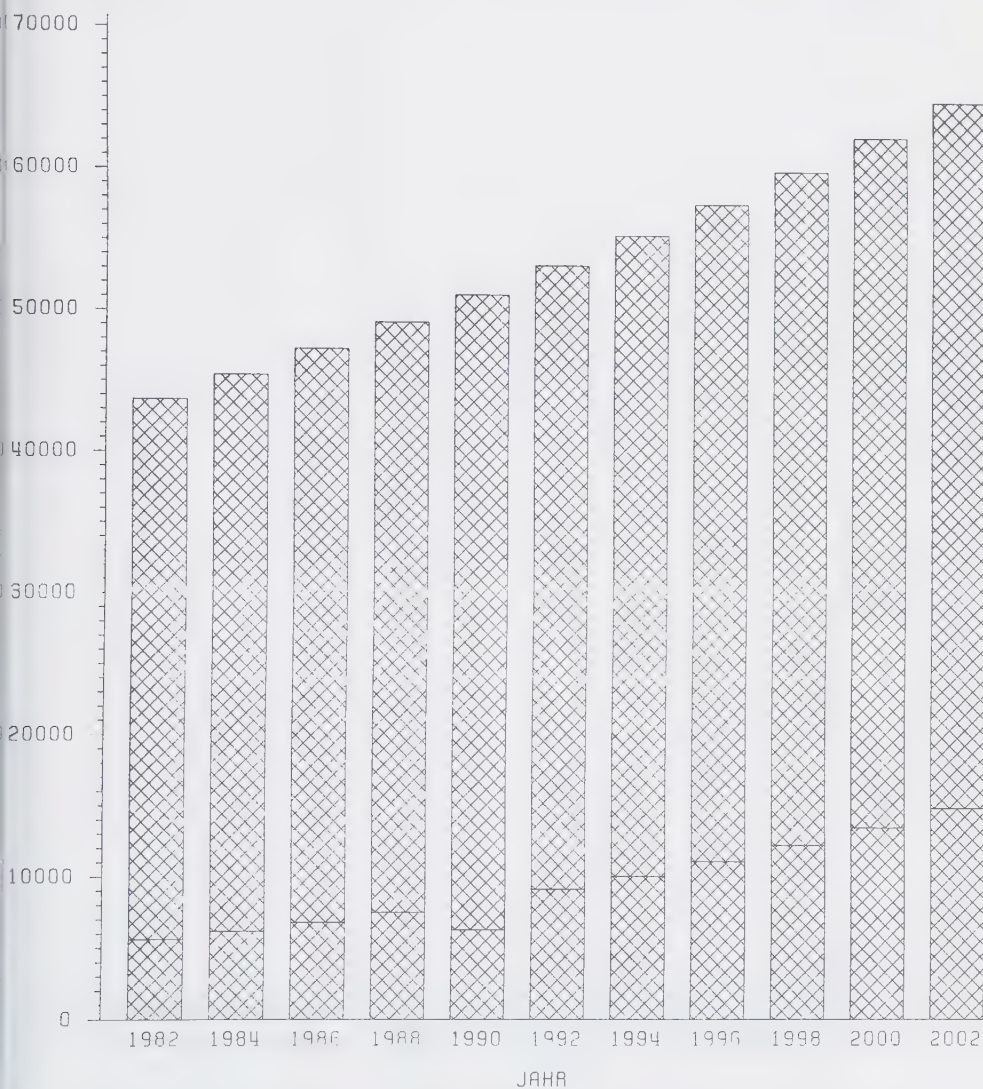
MECHANISCHE ARBEIT MIT ELEKTRIZITÄT (VERKEHR)



MODAL SPLIT: MECHANISCHE ARBEIT IM VERKEHR

AUFTEILUNG DER MECH. ARBEIT NACH ENDENERGIEN

ARBEIT SUM



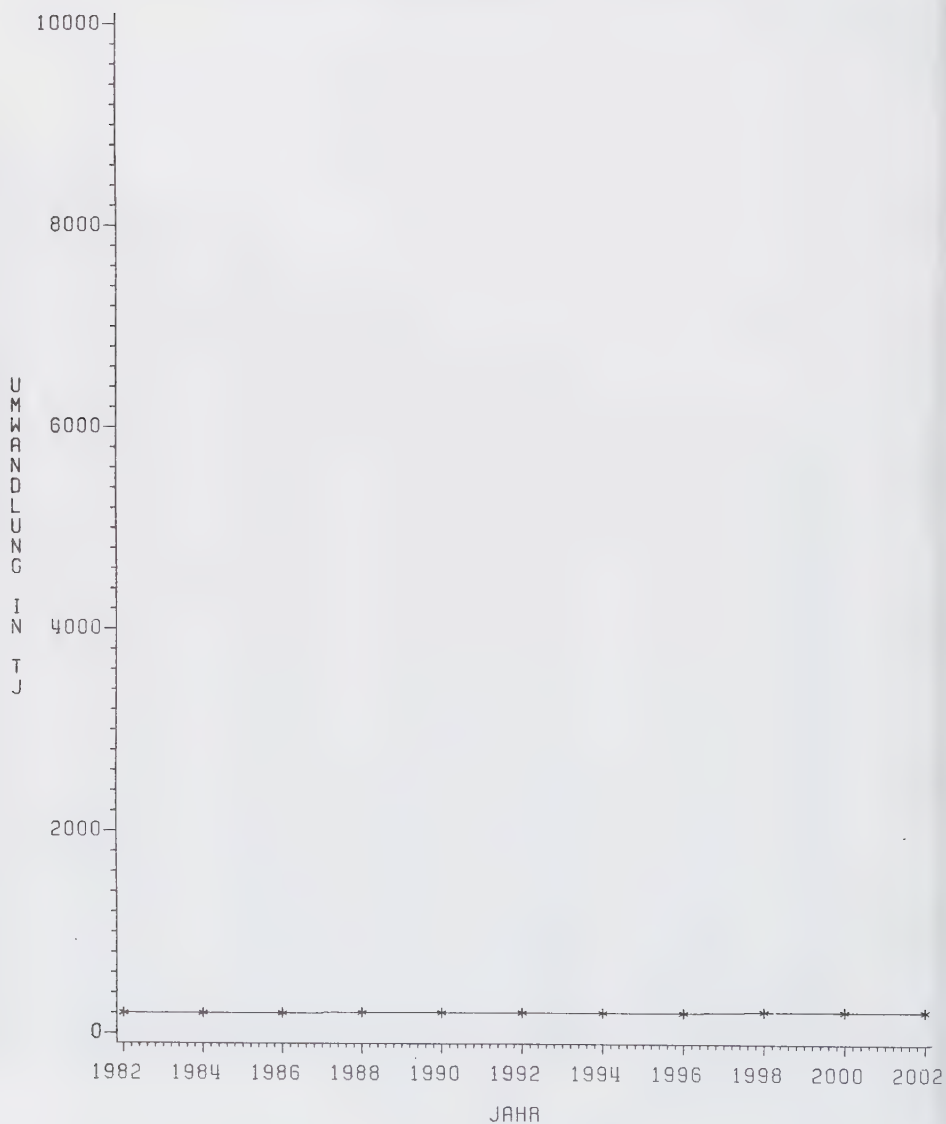
LEGEND: TECH

ELEKTRIZITÄT

FL-TREIBSTOFF

ELEKTRISCHES LICHT

(VERKEHR)



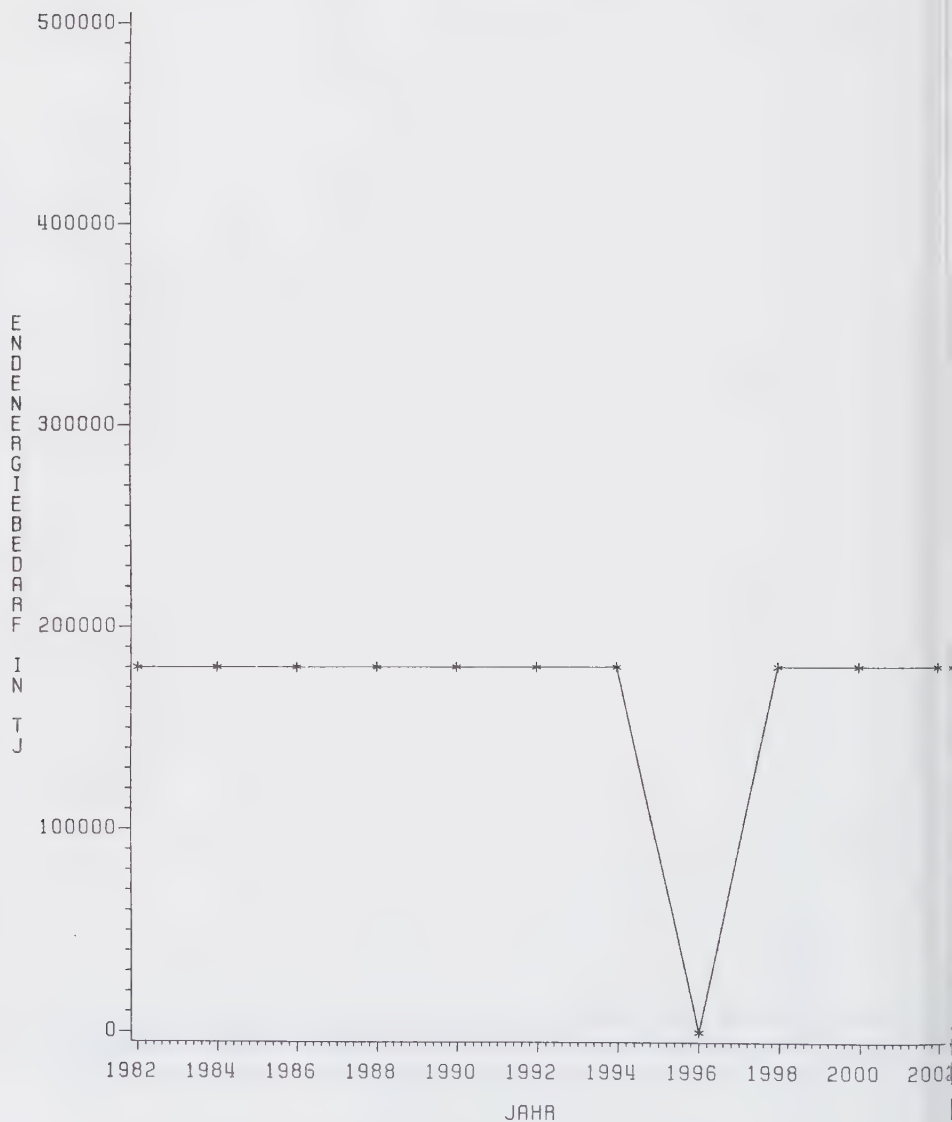
ELEKTRISCHES LICHT

(VERKEHR)



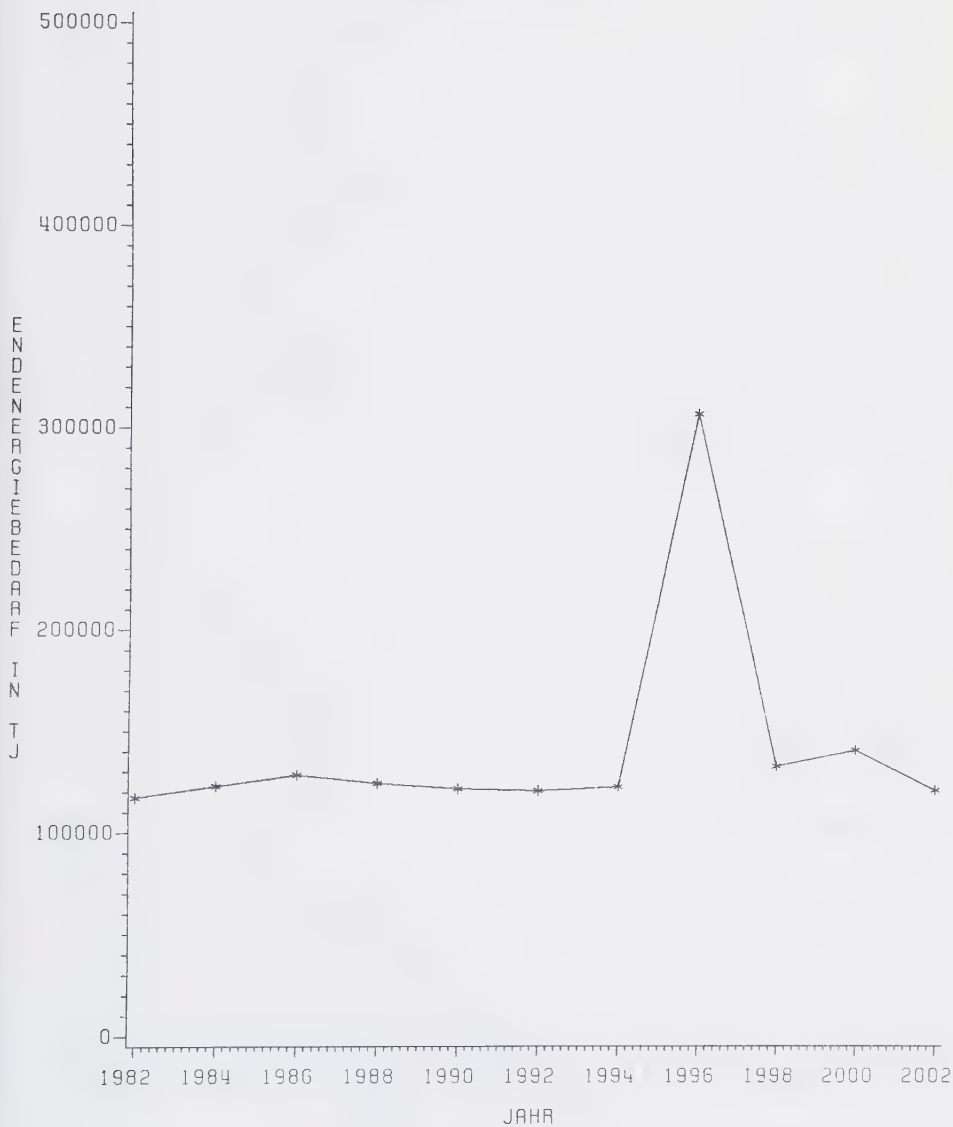
FLUESSIGER BRENNSTOFF

(INLANDPRODUKTION)



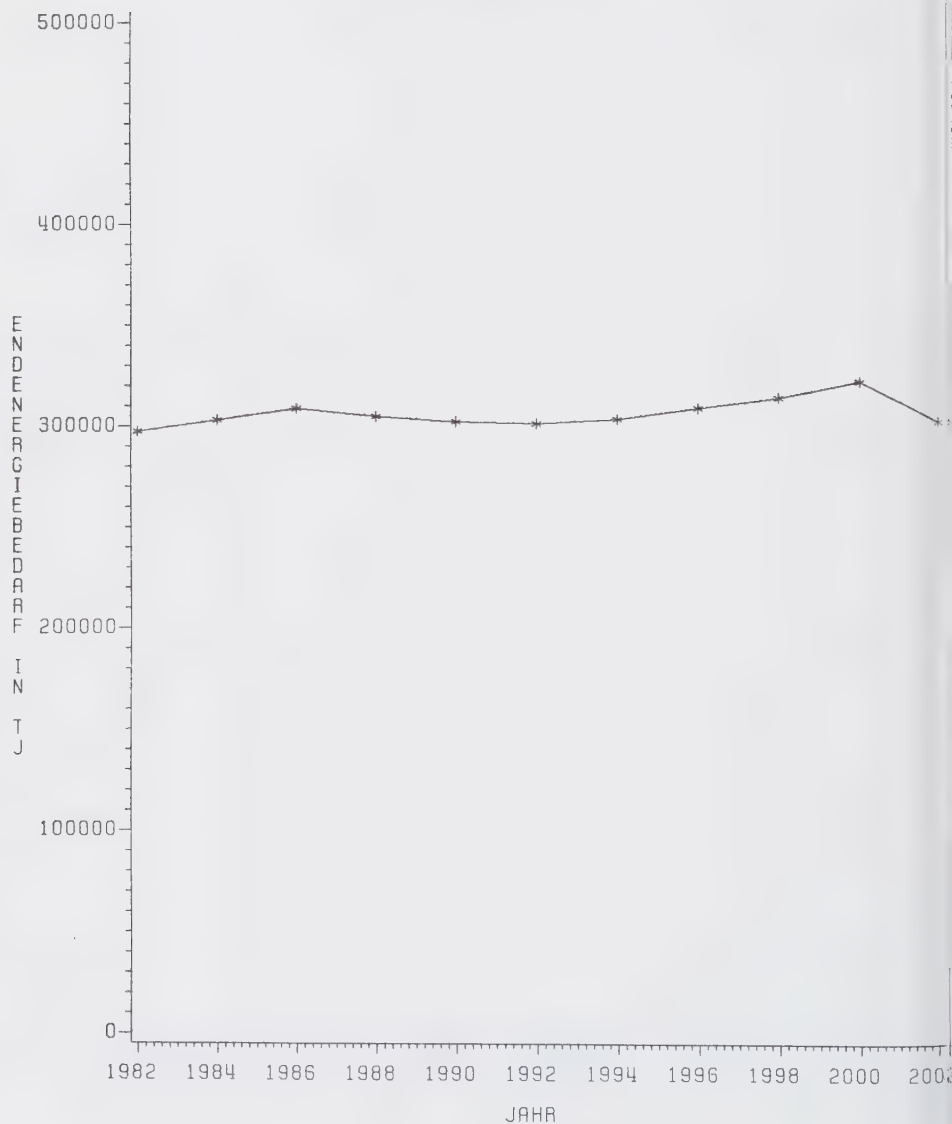
FLUESSIGER BRENNSTOFF

(IMPORT)



FLUESSIGER BRENNSTOFF

(TOTAL)



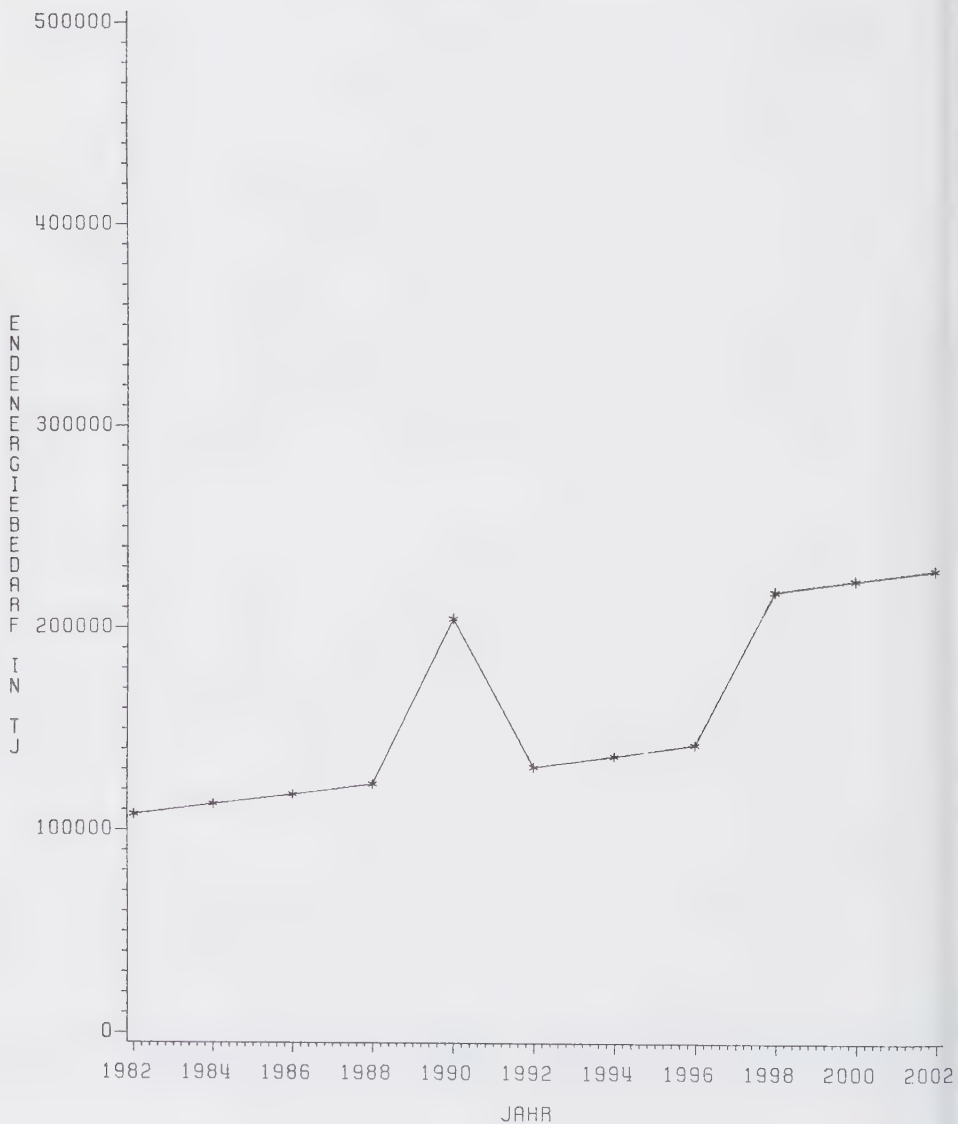
FLUESSIGER TREIBSTOFF

(INLANDPRODUKTION)



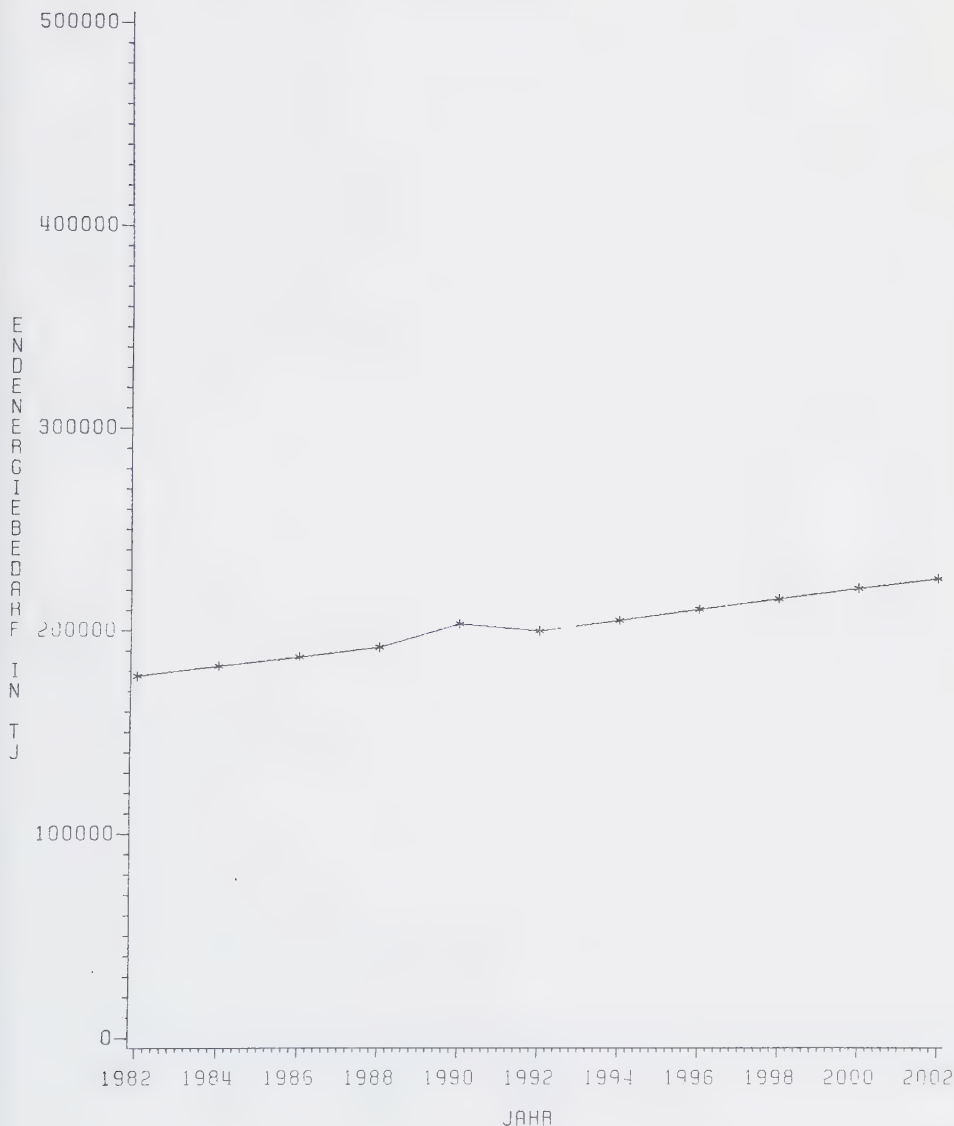
FLUESSIGER TREIBSTOFF

(IMPORT)



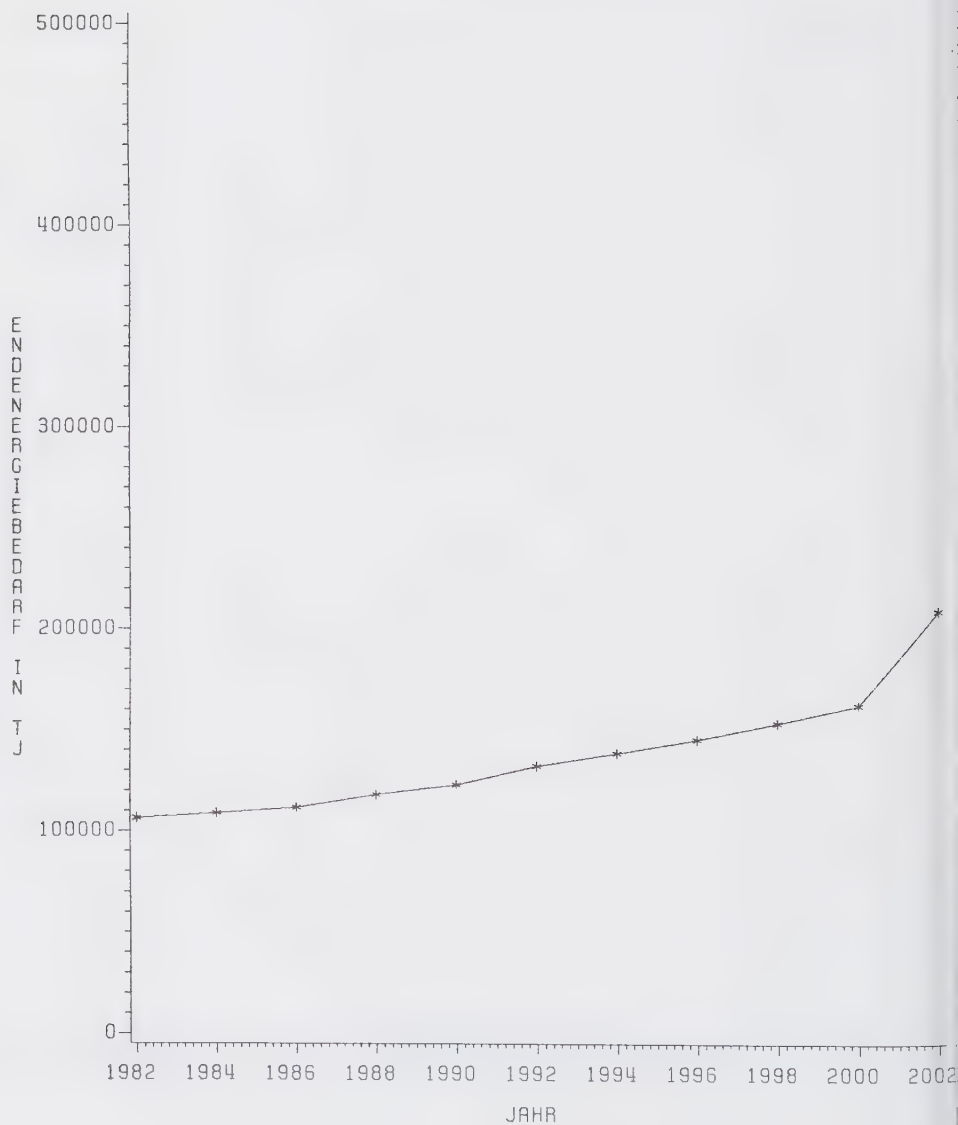
FLUESSIGER TREIBSTOFF

(TOTAL)



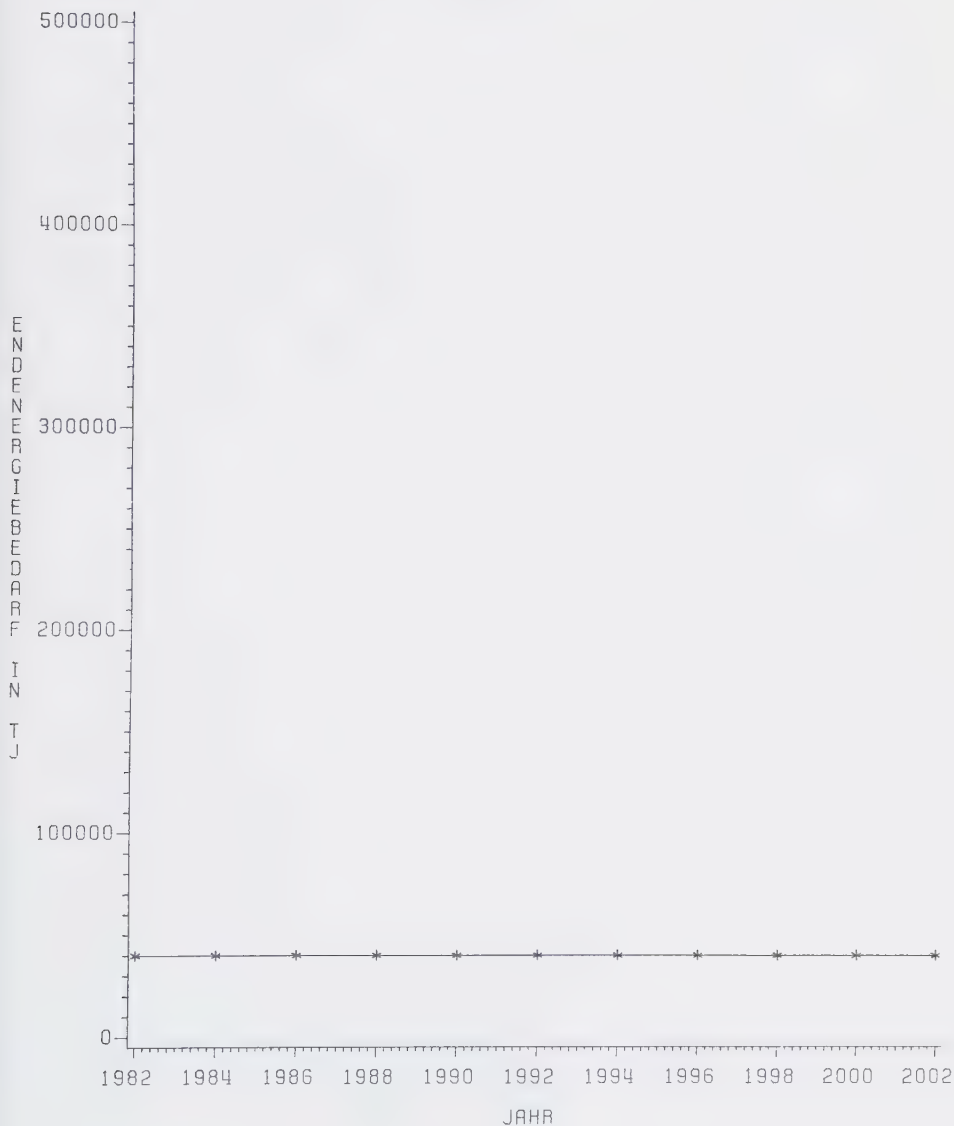
ELEKTRIZITÄT

(INLANDPRODUKTION)



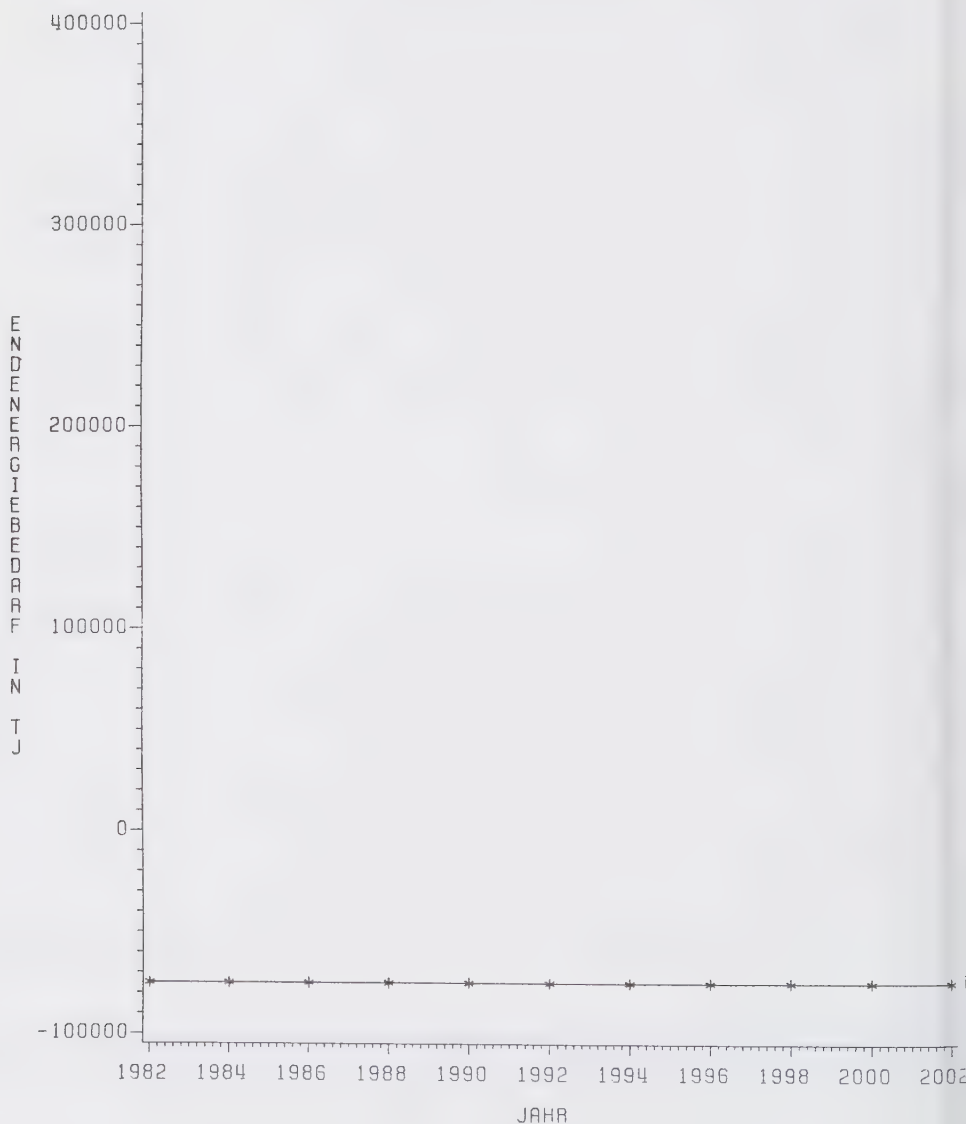
ELEKTRIZITÄT

(IMPORT)

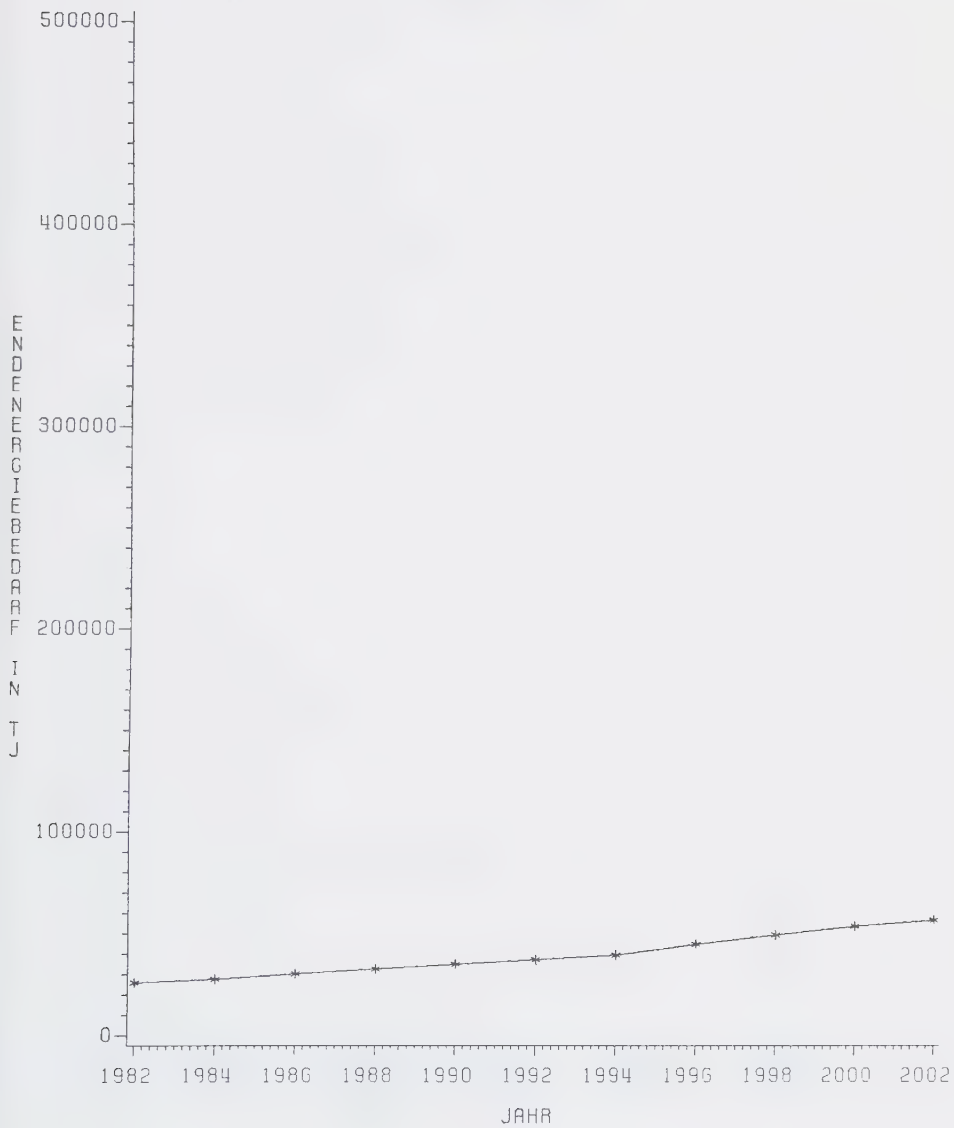


ELEKTRIZITÄT

(EXPORT)

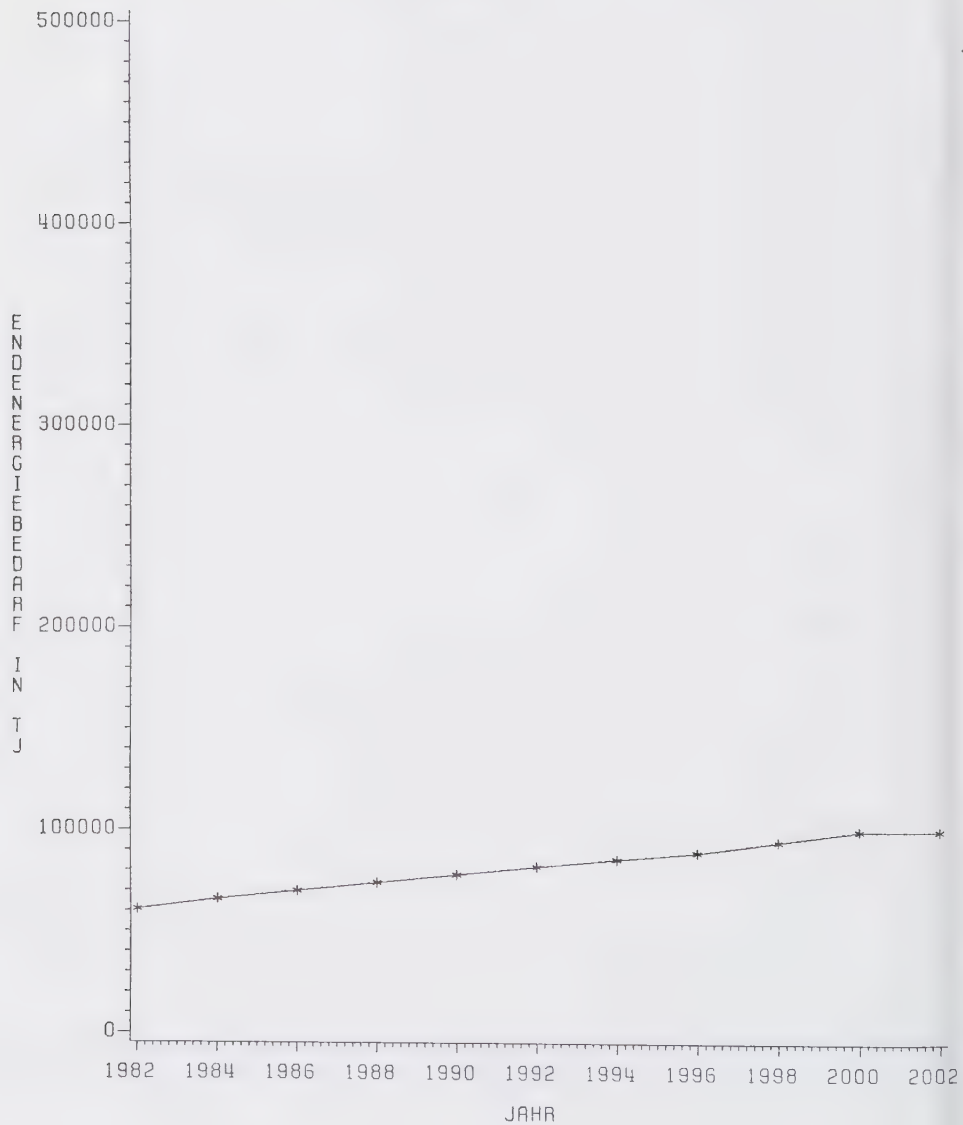


GAS
(IMPORT)



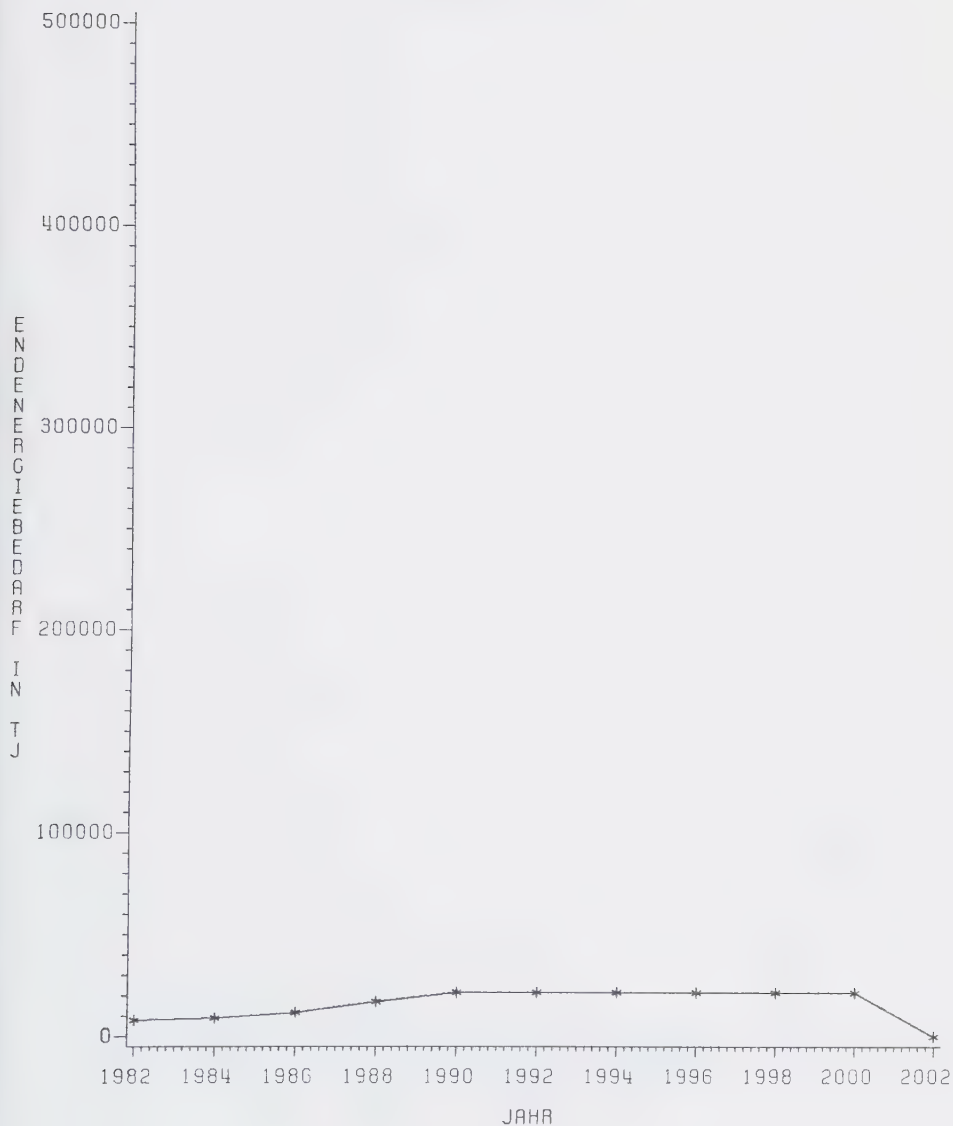
KOHLE

(IMPORT)



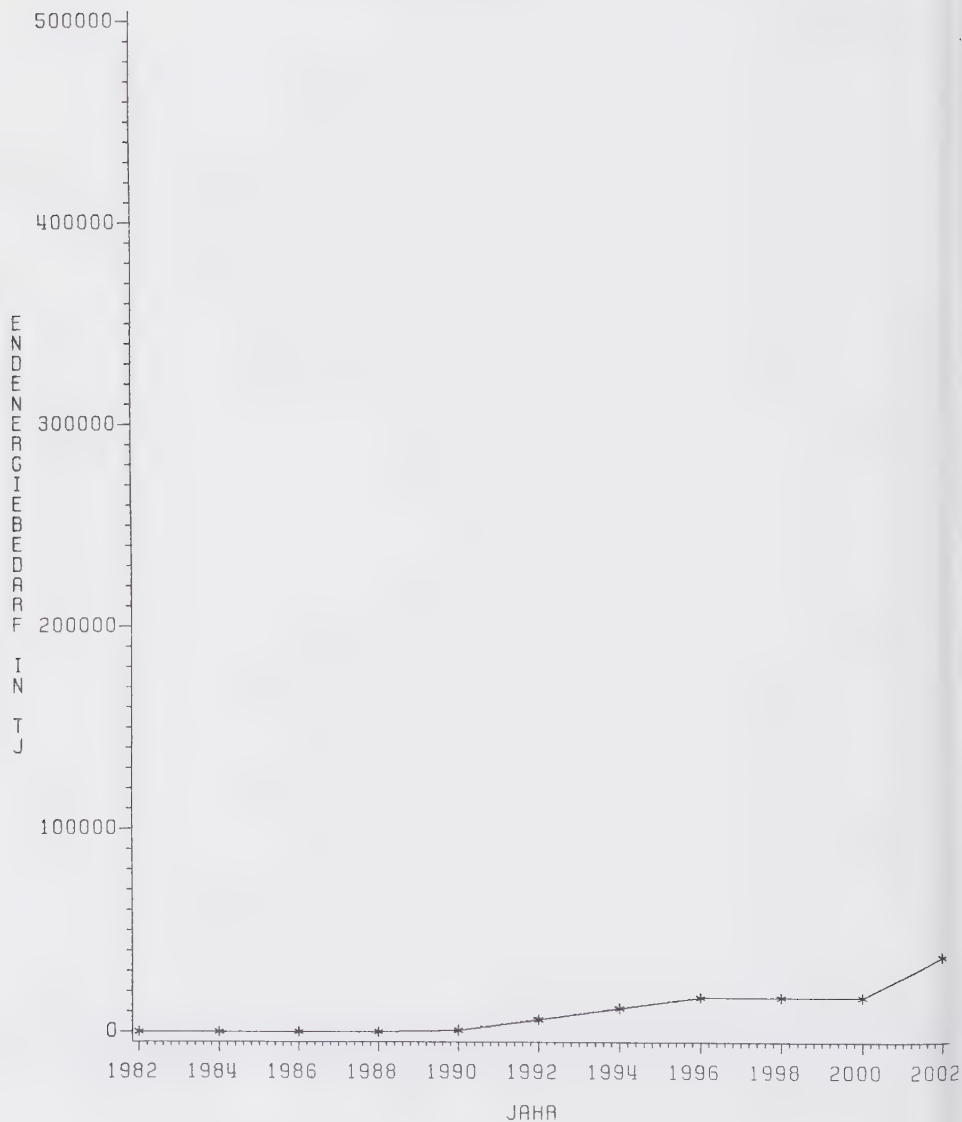
HOLZ

(INLANDPRODUKTION)



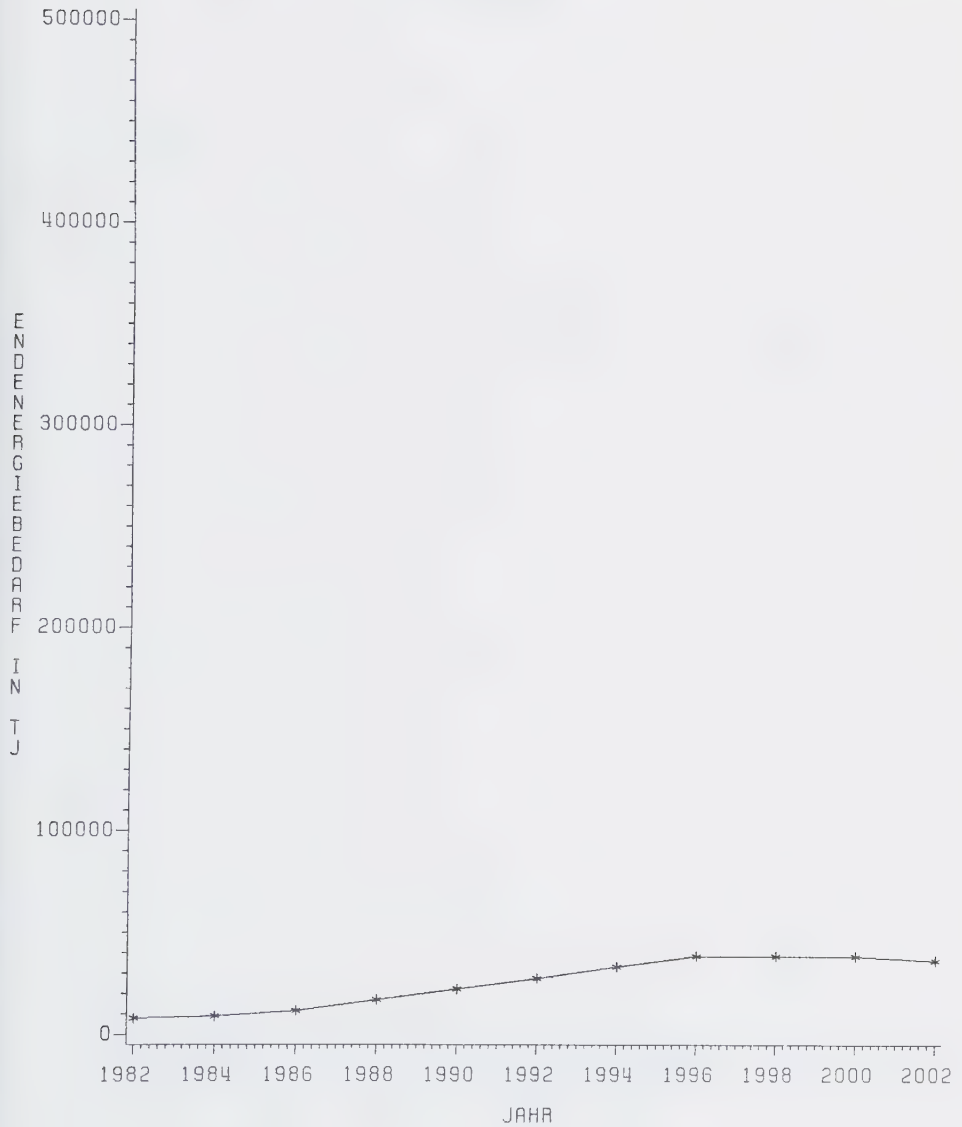
HOLZ

(IMPORT)



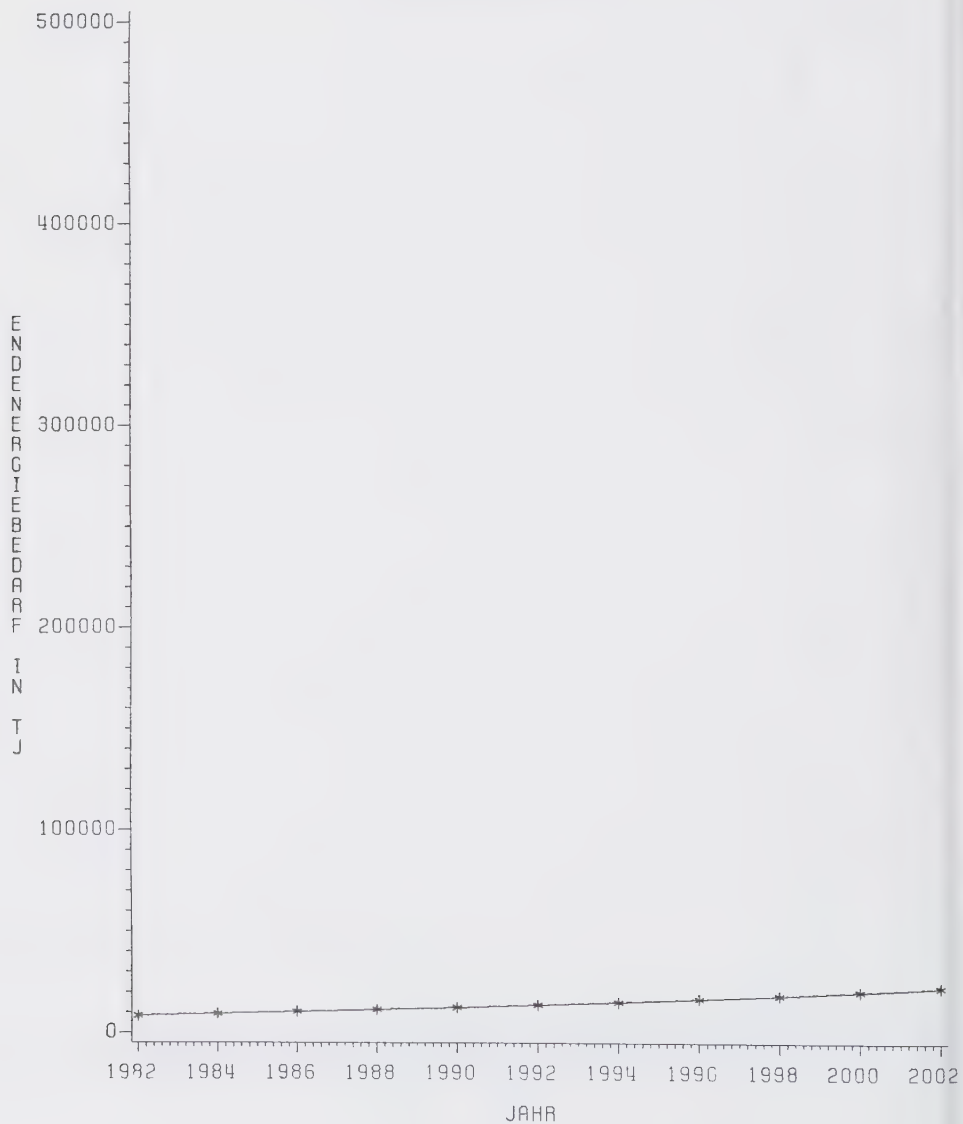
HOLZ

(TOTAL)



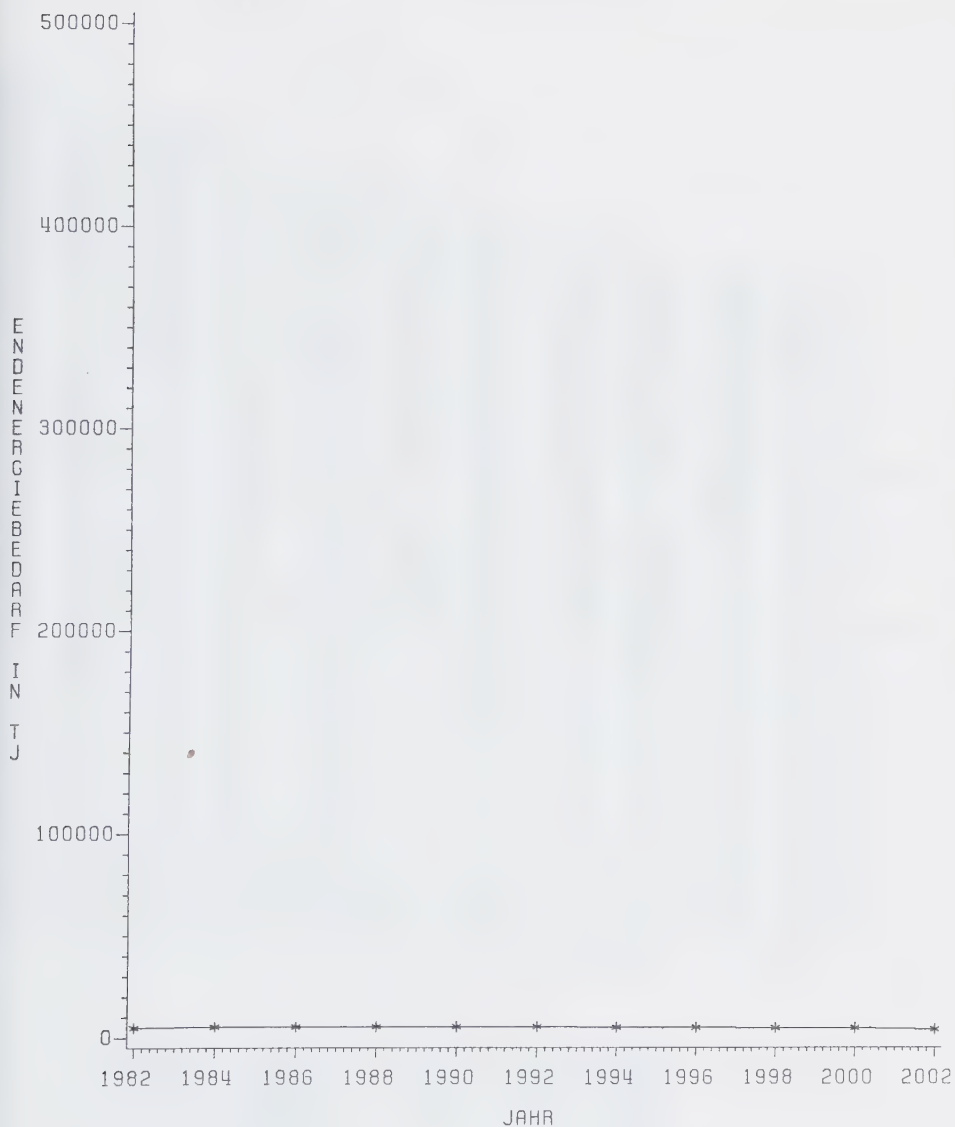
FERNWAERME

(INLANDPRODUKTION)



INDUSTRIEABFAELLE

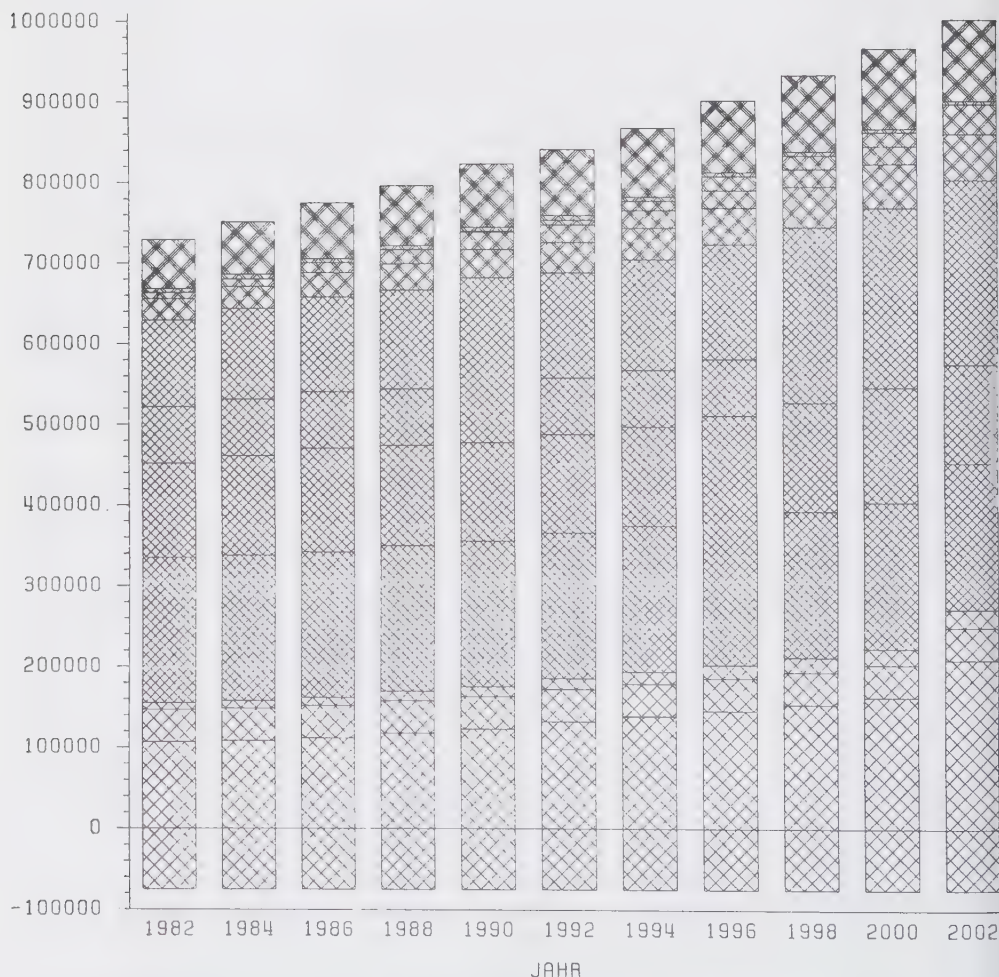
(INLANDPRODUKTION)



MODAL SPLIT: ENDEENERGIE

AUFTEILUNG DER NACHGEFRAGTEN ENDEENERGIEN

ENDENERG SUM



LEGEND: TECH

	ELEKTRIZITAET1		ELEKTRIZITAET2
	ELEKTRIZITAET3		FERNWAEERME
	FL.BRENNSTOFF1		FL.BRENNSTOFF2
	FL.TREIBSTOFF1		FL.TREIBSTOFF2
	GAS		HOLZ 1
	HOLZ 2		INDUSTRIEBABFAE
	KOHLE		

Lebenslauf

Am 23. Dezember 1955 wurde ich in Henau SG geboren. Die Primar- und Sekundarschule absolvierte ich von 1963 bis 1971 in Eschenbach SG. Die Mittelschule schloss ich 1976 mit der Matura Typus B in Engelberg OW ab.

Vor Aufnahme meines wirtschaftswissenschaftlichen Studiums an der Universität Zürich war ich zwei Jahre an der ETH Zürich immatrikuliert und absolvierte militärische Beförderungsdienste. Im Sommer 1983 schloss ich das Studium mit dem Lizentiat in Betriebswirtschaftslehre mit Schwerpunkt Informatik und Operations Research ab.

Seit November 1981 arbeite ich als Assistent am Institut für Operations Research und mathematische Methoden der Wirtschaftswissenschaften an der Universität Zürich.

